

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Потеряйло Людмила Олександрівна**

УДК 004.896:622.24

**ДИСЕРТАЦІЯ**


**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК БУРІННЯ  
НА ОСНОВІ БАЗ ПАРАМЕТРИЗОВАНИХ КЕЙСІВ**

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

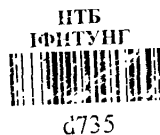
15 – Автоматизація та приладобудування

Подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

 Потеряйло Л.О.

**Науковий керівник:** Шекета Василь Іванович, доктор технічних наук, професор



Івано-Франківськ – 2023

d735

## АНОТАЦІЯ

*Потеряйло Л.О.* Інтелектуальні моделі оптимізації характеристик буріння на основі баз параметризованих кейсів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології (15 – Автоматизація та приладобудування), Івано-Франківськ, 2023.

Сучасні технології дозволяють вимірювати, збирати та зберігати все більші обсяги даних. Компанії виявляють, що складність та обсяг даних зробили завдання обробки великих даних як трудомістким, так і витратним. Проблема підвищення ефективності керування процесом буріння в аспекті інтерпретації даних з метою підтримки прийняття рішень на їх основі є актуальна для даної галузі і потребує побудови інтелектуальних моделей. Зростаючий обсяг даних, що генеруються на свердловині під час бурових робіт, дає можливість отримати нові і корисні ідеї, які можна знайти лише за допомогою методів аналізу даних засобами штучного інтелекту. Ці алгоритми можуть швидко сортувати, класифікувати та уточнювати те, що не завжди може бути відзначене людським досвідом, особливо в межах кількості шумних даних, які породжує такий невизначений процес як буріння. Це зумовлює необхідність послідовного переходу від системи знань, керованої досвідом, якою користувались бурильники, до системи керованої даними з застосуванням засобів штучного інтелекту, що дає можливість приймати більш ефективні рішення.

Сучасні автоматизовані системи передбачають отримання раціональних або оптимальних значенні керованих параметрів. Принципова відмінність запропонованих моделей інтелектуальної системи управління процесом буріння, полягає в відсутності заздалегідь встановлених або відомих значень. Інтелектуальне управління бурінням передбачає обробку поточних значень режимних параметрів і властивостей ґрунту з отриманням значень оптимальних режимних параметрів і мінімальної собівартості буріння.

В результаті проведеного дослідження удосконалено визначення багатофакторних взаємозалежності режимних параметрів, що використовуються при прийнятті рішень технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин;

вперше:

- запропоновано розширення прецедентного методу знаходження рішення засобами міркувань на основі моделей, що містить інформацію про залежності між предметними сутностями, процесами, явищами та підсилені змодельованими випадками;
- розроблено модель, що враховує в явному вигляді параметри процесу буріння, що забезпечує визначення оптимального режиму;

отримали подальший розвиток методи розв'язання багатокритеріальних і багатоцільових задач за рахунок використання методу аналізу співвідношень, який забезпечує визначення важливості цілей і підвищує ефективність прийняття рішень.

В результаті виконання роботи представлено результати досліджень у галузі моделювання процесів буріння із застосуванням сучасного комп'ютерного моделювання. Визначено основні параметри процесу буріння як теоретичні міркування, спрямовані на введення понять, пов'язаних із імітаційним та комп'ютерним моделюванням в бурінні. Розкрито фази циклу міркувань на основі знань з проекцією на інформаційний цикл управління процесами буріння. Описана схема організації інформаційних потоків при проектуванні та впровадженні інтелектуальної системи прийняття рішень, де штучний інтелект розглянуто як засіб, що дозволяє уникнути відволікання на непотрібні дані, створення покращеної видимості процесу, а відповідно покращення безпеки та підвищення ефективності процесу прийняття рішень. Визначено можливість застосування методів машинного навчання до завдань аналізу даних, пов'язаних із процесом буріння. Запропоновано використання комбінованого підходу для адаптації даних використовуваних для прийняття рішень на основі знань. Виявлено, що критичним питанням в процесі навчання інтелектуальної системи,

що імітує процес буріння є визначення закономірностей технологічного процесу, складність полягає в обмеженій кількості прецедентів, що пропонується системі з реально діючих нафтогазових об'єктів. Доведено можливість використання систем «Бурові тренажери» для забезпечення необхідного обсягу адекватних наближених до реальних даних про нештатні ситуації технологічного процесу буріння, що характеризується високим ризиком, для здійснення моделювання оптимізації характеристик буріння на основі баз параметризованих кейсів. Проаналізовано ефективність ідентифікації випадків через взаємозв'язок з першопричинами виникнення ускладнення процесу буріння. Доведено доцільність використання міркувань на основі прецедентів при побудові цифрового нафтового родовища і зв'язаних виробничих середовищ та виявлено вплив такого підходу на підвищення надійності активів та уникнення простоїв. Представлено архітектуру автоматизації технологічного процесу буріння з посиланням на піраміду комп'ютерно-інтегрованого виробництва.

В основу дослідження та для реалізації поставлених завдань покладено методи порівняльного та системного аналізу; об'єктно-орієнтованого моделювання даних і знань, міркувань на основі моделей, міркувань на основі прецедентів, математичного (аналітичного) моделювання, ситуаційного та автоматизованого комп'ютерного навчання, теорії оптимізації та теорія баз даних і методи об'єктно-орієнтованого програмування.

З метою пошуку та виявлення прецедентів в історичних даних при побудові інтелектуальних моделей використано методи класифікації, зокрема кластерний аналіз - процес сегментації вихідного набору даних на набори (кластери або групи) однорідних записів, які утворюють прецеденти. Для кластерного аналізу здійснено вибір метрики, за якою здійснено розрахунки відстаней між записами.

Процес формалізації проблеми при моделюванні з використанням підходу, заснованого на міркуваннях по прецедентах в роботі досліджувався шляхом аналізу інформації щодо проблемних питань під час будівництва свердловин на родовищах трьох управлінь бурових робіт ПАТ "Укрнафта", для демонстрації



роботи кейс-методу використано дані, отримані під час бурових робіт на свердловині №9 Микуличинська.

Практична реалізація інтелектуального способу керування полягає в визначенні оптимальних режимів процесу буріння і пов'язана з рядом труднощів, які полягають в тому, що певну інформацію неможливо отримати в процесі буріння свердловини. Усунути недоліки такого підходу пропонується шляхом застосування способу адаптації керування, який дає змогу зняти початкову невизначеність параметрів математичної моделі при зміні умов буріння і при дії на режимні параметри. Запропоноване програмне рішення дозволяє отримати потенційний ефект у вигляді зниження втрат, викликаних недостатньою підготовкою фахівців і неправильними оцінками наслідків прийнятих управлінських рішень і обумовлює затребуваність використання інтелектуальних систем на основі баз параметризованих кейсів.

В результаті комплексу дослідження теоретичного матеріалу, опрацювання промислових геологотехнічних даних зі свердловин, комп'ютерного дослідження представлені моделі засновані на принципах штучного інтелекту, що можуть бути використані для побудови адекватної системи, яка дозволяє прогнозувати та здійснювати підтримку прийняття рішень співробітникам служби оперативної інженерно-технічної підтримки технологічного процесу буріння. Визначено співвідношення значень відповідного набору технологічних показників і оптимальних значень основних режимних параметрів процесу буріння, що може бути використано інженерним персоналом на діючих нафтогазових підприємствах. Операції по знаходженню оптимальних значень режимних параметрів системою виконуються постійно з деяким дискретним інтервалом, що дозволяє використовувати інтелектуальну систему в постійному режимі для здійснення управлінського впливу змінюючи значення режимних параметрів, в результаті чого поточне значення визначеного критерію постійно наближається до оптимального. Реалізовано запропоновані моделі у вигляді програмного рішення, яке дозволяє досягти оптимізації ТПБ в розрізі питань безпеки, ефективності та собівартості будівництва свердловин.

Майбутній розвиток представленого дослідження може бути направлений на розширення можливостей системи в розрізі питань прогнозування - визначення майбутньої продуктивності свердловини, розширення кола користувачів інтелектуальної системи, розширення можливостей керування на відстані – мобільний доступ, що на даний час стримується забезпеченням підтримки достатнього рівня інформаційної безпеки.

**Ключові слова:** буріння, контрольовані параметри, база прецедентів, ідентифікація технологічних проблем, моделювання, критерії оптимізації, міркування на основі знань, штучний інтелект, імітаційна модель, оптимальне керування, машинне навчання, інтелектуальна система, великі дані, моніторинг технологічного процесу, підтримка прийняття рішень.

### ABSTRACT

*Poteriailo L.* Smart models for drilling performance optimization based on parameterized case databases. - Qualification Scientific Work. Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy in specialty 151 – Automation and computer-integrated technologies (15 – Automation and Instrument Making), Ivano-Frankivsk, 2023.

Modern technologies make it possible to measure, collect and store ever-increasing amounts of data. Companies are finding that the complexity and volume of data has made big data processing both time-consuming and costly. The problem of improving the efficiency of drilling process management in terms of data interpretation to support decision-making based on them is relevant to this industry and requires the construction of intelligent models. The growing amount of data generated in the well during drilling makes it possible to obtain new and useful ideas that can only be found through methods of data analysis by artificial intelligence. These algorithms can quickly sort, classify, and refine what may not always be noted by human experience, especially within the amount of noisy data generated by such an uncertain process as drilling. This necessitates a consistent transition from the knowledge-driven knowledge system used

by drillers to the data-driven artificial intelligence system, which enables more efficient decisions to be made.

Modern automated systems involve obtaining rational or optimal values of controlled parameters. The fundamental difference between the proposed models of intelligent control system of the drilling process is the lack of pre-established or known values. Intelligent drilling control involves processing the current values of the regime parameters and soil properties to obtain the values of the optimal regime parameters and the minimum cost of drilling.

As a result of the conducted research is improved the definition of multifactor interdependences of the mode parameters used at decision-making of technological process of drilling of oil and gas wells;

for the first time:

- the expansion of the precedent method of finding the decision by means of reasoning on the basis of models containing the information on dependences between subject essences, processes, the phenomena is offered and reinforced by simulated cases;

- a model has been developed that explicitly takes into account the parameters of the drilling process, which provides the definition of the optimal mode;

methods of solving multi-criteria and multi-purpose problems have been further developed through the use of the method of relationship analysis, which determines the importance of goals and increases the efficiency of decision-making.

As a result of the work the results of researches in the field of modeling of drilling processes with application of modern computer modeling are presented. The main parameters of the drilling process are defined as theoretical considerations aimed at introducing concepts related to simulation and computer modeling in drilling. The phases of the cycle of reasoning based on knowledge with a projection on the information cycle of drilling process control are revealed. The scheme of organization of information flows in the design and implementation of intelligent decision making is described, where artificial intelligence is considered as a means to avoid distraction to unnecessary data, creating improved visibility of the process, and thus improving

security and efficiency of decision making. The possibility of applying machine learning methods to data analysis tasks related to the drilling process has been identified. The use of a combined approach to adapt the data used for knowledge-based decision-making is proposed. It was found that a critical issue in the process of learning an intelligent system that mimics the drilling process is to determine the patterns of the technological process, the difficulty lies in the limited number of precedents offered to the system of real oil and gas facilities. The possibility of using systems "Drilling simulators" to provide the necessary amount of adequate close to the real data on abnormal situations of the technological process of drilling, characterized by high risk, to model the optimization of drilling characteristics based on parameterized cases. The effectiveness of case identification due to the relationship with the root causes of complications of the drilling process is analyzed. The feasibility of using precedent-based considerations in the construction of a digital oil field and related production environments has been demonstrated and the impact of such an approach on improving asset reliability and avoiding downtime has been identified. The architecture of automation of technological process of drilling with reference to a pyramid of computer-integrated production is presented.

The research is based on the methods of comparative and systematic analysis; object-oriented modeling of data and knowledge, reasoning based on models, reasoning based on precedents, mathematical (analytical) modeling, situational and automated computer learning, optimization theory and database theory and methods of object-oriented programming.

In order to search for and identify precedents in historical data in the construction of intelligent models used classification methods, including cluster analysis - the process of segmentation of the original data set into sets (clusters or groups) of homogeneous records that form precedents. For cluster analysis, a metric was selected, which was used to calculate the distances between records.

The process of formalizing the problem in modeling using an approach based on considerations of the cases was studied by analyzing information on problematic issues during the construction of wells at the fields of three drilling departments of

PJSC "Ukrnafta", to demonstrate the case method used data obtained during drilling works on well №9 Mykulychynska.

The practical implementation of the intelligent control method is to determine the optimal modes of the drilling process and is associated with a number of difficulties, which is that certain information can not be obtained during the drilling of the well. It is proposed to eliminate the shortcomings of this approach by applying the method of control adaptation, which allows to remove the initial uncertainty of the parameters of the mathematical model when changing the drilling conditions and when acting on the mode parameters. The proposed software solution allows to obtain a potential effect in the form of reducing losses caused by insufficient training and incorrect assessments of the consequences of management decisions and causes the demand for the use of intelligent systems based on databases of parameterized cases.

As a result of a set of research of theoretical material, processing of industrial geological data from wells, computer research, models based on the principles of artificial intelligence are presented, which can be used to build an adequate system that allows forecasting and decision support to operational engineering support. technological process of drilling. The ratio of the values of the corresponding set of technological indicators and the optimal values of the main regime parameters of the drilling process, which can be used by engineering personnel at existing oil and gas enterprises, is determined. Operations to find the optimal values of mode parameters by the system are performed constantly with some discrete interval, which allows you to use the intelligent system in constant mode to exercise management influence by changing the values of mode parameters, resulting in the current value of a certain criterion. The proposed models are implemented in the form of a software solution that allows to achieve optimization of TPB in terms of safety, efficiency and cost of well construction.

The future development of the presented study can be aimed at expanding the capabilities of the system in terms of forecasting - determining the future performance of the well, expanding the range of users of intelligent systems, expanding remote

control - mobile access, which is currently constrained by maintaining a sufficient level of information security.

**Keywords:** drilling, controlled parameters, database of precedents, identification technological problems, modeling, optimization criteria, knowledge-based reasoning, artificial intelligence, simulation model, optimal control, machine learning, intelligent system, big data, monitoring technological processes, decision support.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**

*Статті в наукових фахових виданнях України*

1. Гобир Л.М. Ймовірнісна оцінка результатів інтерпретації даних та параметрів геофізичних досліджень/ Гобир Л.М., Вовк Р.Б., Потеряйло Л.О., Шекета В.І.// *Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”*. – 2018. – №3(68).– С. 46-59. <https://rrngr.nung.edu.ua/index.php/rrngr/article/view/692/678>. Особистий внесок – проаналізовано методика видобування і обробки даних та знань в ході формування бази кейсів при взаємодії експерта та інтелектуальної системи.
2. Чесановський М.С. Формально-метричні аспекти кейс-базованих реалізацій при вирішенні технологічних проблем буріння/ Чесановський М.С., Шекета В.І., Потеряйло Л.О. // *Науково-технічний журнал «Математичні машини та системи»*. – 2019. – №1.– С. 94–106. [http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2019/2019\\_1/01\\_2019\\_Chessan.pdf](http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2019/2019_1/01_2019_Chessan.pdf). Особистий внесок – запропоновано принципи отримання метричної топології процесу буріння у формі специфікації (опису) окремих кейсів.
3. Потеряйло Л.О. Знання орієнтовані методи прийняття рішень в моделюванні тренажерів технологічних процесів/ Л.О. Потеряйло, В.В. Процюк, К.І. Кравців // *Науково-технічний журнал. «Методи та прилади контролю якості»*. 2020.- №2(45) – С.132-145. <https://mpky.nung.edu.ua/index.php/mpky/article/view/535/541> Особистий внесок – виявлено суттєві зав’язкі між реальними технічними процесами і імітаційним

моделюванням та комп'ютерним моделюванням в бурінні.

4. Потеряйло Л.О. Інтелектуалізація контролю та підтримка прийняття рішень в процесі буріння // *Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»*. - 2020.- №2 (66) – С. 88-95. <https://vottp.khmnu.edu.ua/index.php/vottp/issue/view/4/4> – розроблено структуру бази знань з врахуванням інформаційного циклу управління процесами буріння; структуру та опис інтелектуалізації керування на основі нечітких знань отриманих в ході технологічного циклу управління процесом видобутку, що формується інформаційним циклом.
5. Потеряйло Л.О. Інтеграційні аспекти впровадження сучасних інформаційних технологій в технологічні процеси// *Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки»*. - 2020.- № (6) – С. 228-234. <http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/04/37.pdf> – визначено систему оцінки якості та відповідності інтелектуальної системи проектним цілям.
6. Потеряйло Л.О. Забезпечення якості та об'єму геолого-технологічних даних для застосування методів машинного навчання знання-орієнтованої системи / Л.О. Потеряйло, В.В. Процьок, К.І. Кравців // *Науково-технічний журнал. «Методи та прилади контролю якості»*. 2021.- № 1 (46) – С.75-92. <https://mpky.nung.edu.ua/index.php/mpky/article/view/540>. Особистий внесок – запропоновано принципи адаптації даних та знань щодо технологічного процесу буріння.

*Стаття у періодичному науковому виданні іншої держави*

7. M. Chesanovskyu. Software outlines for decisions making support in oil and gas engineering M. Chesanovskyu, K. Kravtsiv, V. Protsiuk, L. Poteriailo // *Scientific papers of Silesian university of technology Organization and management series 2021, NO. 151.* [https://managementpapers.polsl.pl/wp-content/uploads/2021/03/151\\_Chesanovskyu-Kravtsiv-Protsiuk-Poteriailo.pdf](https://managementpapers.polsl.pl/wp-content/uploads/2021/03/151_Chesanovskyu-Kravtsiv-Protsiuk-Poteriailo.pdf). Особистий внесок – проаналізовано представлення фактичної та імовірнісної інформаційної бази знань для прийняття рішень у реальному часі.

*Статті індексовані міжнародною базою цитування Scopus*

8. Romanyshyn Y., Sheketa V., Chesanovsky M., Pikh V., Pasiaka M., Poteriailo L. Case-Based Notations for Technological Problems Solving in the Knowledge-Based Environment. *Computer Sciences and Information Technologies: Proceedings of the IEEE 14th International Scientific and Technical Conference. CSIT-2019, Lviv, Ukraine, 17-20 September, 2019. Vol. 1. P. 10–15.* <https://ieeexplore.ieee.org/document/8929784>. Особистий внесок – обґрунтовано застосування кейс-базованої технології підтримки прийняття рішень щодо технологічних проблем у предметній області.
9. Vasyl Sheketa, Roman Vovk, Volodymyr Pikh, Yulia Romanyshyn, Kostiantyn Kravtsiv, Liudmyla Poteriailo, Volodymyr Protsiuk, Mykola Pasyeka: Solutions Outlining on the Set of Structured Technological Problems with Imposed Constraints. *Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop. Proc. 3rd International Workshop (MoML&T&DS 2021). Volume I: Main Conference Lviv-Shatsk, Ukraine, June 5-6, 2021. 40-50.* <http://ceur-ws.org/Vol-2917/paper4.pdf>. Особистий внесок – визначено етапи оцінки технологічних параметрів при розв’язанні технологічних задач.
10. Liudmyla Poteriailo, Vasyl Sheketa, Yulia Romanyshyn, Pavlo Krot: Data optimization for the knowledge bases in the oil and gas Monitoring-While-Drilling (MWD) Systems *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* 1189(1): 012021, May 2023. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1189/1/012021/pdf>. Особистий внесок – проаналізовано ефективність використання тренажерів складних технологічних процесів в якості платформи експериментальних досліджень нових моделей.

**Опубліковані праці апробаційного характеру**

11. Гобир Л.М. Симуляція режимів тестування в системах контролю свердловин / Л.М. Гобир, М.С. Чесановський, Л.О. Потеряйло, В.І.Шекета // Реферативний збірник наукових праць 6-ї міжнародної міжвузівської школи семінару «Методи та засоби діагностики в техніці та соціумі». – 17-18 грудня 2018 року. – м. Івано-Франківськ. – С.20-21.



- 12.Шекета В.І. Формально-алгоритмічна імплементація моделей кейсів даних про процес буріння / В.І. Шекета, М.С. Чесановський, Л.О. Потеряйло // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем: IV Міжнар. наук.-техн. конф., Дніпро, 1-2 листопада 2018р. – Дніпро, 2018. - С. 312-314.
- 13.Вовк Р.Б. Формалізація представлення технологічних проблем в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень / Р.Б. Вовк, М.С. Чесановський, Л.О. Потеряйло // Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту, присвячена 50- річчю кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій: Всеукр. наук.-практ. конф., Івано-Франківськ, 17-19 жовтня 2018р.: тези доп. - Івано-Франківськ, 2018. - С. 46-47.
- 14.Романишин Ю.Л., Потеряйло Л.О. Адаптивна гіпермедія як засіб інтелектуалізації контенту в системах електронного навчання. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи: матеріали II Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції (Тернопіль, 8-9 листопада, 2018 р.). Тернопіль: Осадца Ю. В. 2018. С. 119-122.
- 15.Романишин Ю., Потеряйло Л. Функціональні аспекти адаптивності технологій дистанційного навчання / Ю.Романишин, Л. Потеряйло // Інформація, комунікація, суспільство 2018: матеріали VII Міжнародної наукової конференції ICS-2018 [Електронний ресурс]. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – С. 287-288.
- 16.Sheketa V. Case-based modelling of data and knowledge // Sheketa V., Chesanovsky M., Styslo T., Romanyshyn Y., Poteriailo L. // 14-а міжнародна науково-практична конференція “Математичне та імітаційне моделювання систем – МОДС 2019”.– Чернігів.– 2019.–С.177–181.
- 17.Потеряйло Л.О. Моделювання імітаційної моделі керування процесами буріння на основі прецедентів / Потеряйло Л.О., Процюк В.В., Кравців К.І // Всеукраїнська наук.-практ. конф. «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» - ІТОТП-2020 -Івано-Франківськ, 8 жовтня 2020. – С.224-227.

18. Потеряйло Л.О. Використання СВР при реалізації інженерних рішень систем класу «Бурові тренажери» / Потеряйло Л.О., Процюк В.В., Кравців К.І // VI Міжнар. наук.-техн. конф. «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем», Дніпро, 4 листопада 2020 р. – Дніпро, 2020. – С.146-148.
19. Liudmyla Poteriailo Data optimization for the knowledge bases in oil and gas Monitoring-While-Drilling (MWD) systems / Liudmyla Poteriailo, Vasyl Sheketa, Yulia Romanyshyn, Pavlo Krot // XXII Conference of PhD Students and Young Scientists June 29 – July 01, 2022, Wroclaw, Poland. – p.101-102.

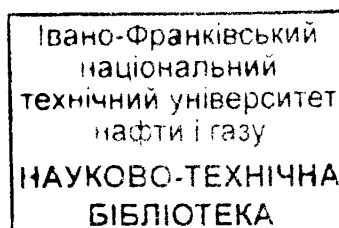
## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....</b>	<b>17</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>18</b>
<b>РОЗДІЛ 1 СУТНІСТЬ ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ .....</b>	<b>25</b>
1.1. Сучасний стан формалізації завдань керування та вибір критеріїв оцінки технологічного процесу буріння .....	25
1.2. Інтелектуальний підхід до оптимізації характеристик буріння при автоматизації технологічного процесу .....	34
1.3 Технічні аспекти дослідження ефективності інтелектуальної підтримки рішень технологічного процесу буріння .....	44
1.4. Огляд інженерних рішень систем класу «Бурові тренажери» .....	51
1.5. Вибір та обґрунтування напрямку дослідження.....	57
<b>РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА СТАНУ ЗАСТОСУВАННЯ ШІ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БУРІННЯ.....</b>	<b>60</b>
2.1. Застосування ШІ при опрацюванні інформаційного циклу технологічних процесів .....	60
2.2. Буріння як об'єкт керування інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень .....	68
2.3. Оптимізація даних.....	76
2.3.1. Складності отримання даних та їх обробки .....	76
2.3.2. Особливості залучення ШІ при оцінці інформаційних потоків.....	77
2.3.3. виправлення даних .....	80
2.3.4 Попередня обробка даних .....	82
2.4. Перспективи застосування case-базованих технологій інтелектуального моделювання технологічного процесу в практиці буріння .....	85
Висновки до другого розділу .....	95
<b>РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ МІРКУВАНЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ .....</b>	<b>96</b>

	16
3.1. Формування бази прецедентів .....	96
3.2. Оцінка подібності та алгоритм знаходження аналогів .....	100
3.3. Напрямки та проблеми, що стосуються впровадженню інтелектуальної автоматизації.....	105
3.4. Математичне забезпечення створення імітаційних моделей засобами симуляції .....	111
3.5. Розширення підходів до міркувань .....	116
Висновки до третього розділу .....	128
<b>РОЗДІЛ 4 ФОРМУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК БУРІННЯ.....</b>	<b>130</b>
4.1. Інтелектуальна модель оптимізації технологічного процесу автоматизованої системи керування .....	130
4.2. Імплементация кластерного аналізу, як методу машинного навчання при реалізації інтелектуальних моделей оптимізації .....	145
4.3. Ефективність підтримки прийняття рішень засобами інтелектуальної системи .....	163
Висновки до четвертого розділу.....	170
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>172</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>175</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>195</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;  
АСБ – автоматизована система буріння;  
БД – база даних;  
БЗ – база знань;  
ЕС – експертна система;  
КНБК – компоновка низу бурильної колони;  
НГС – нафтові та газові свердловини;  
ППР – підтримка прийняття рішень;  
СППР – система інтелектуальної підтримки прийняття рішень;  
СППР – система підтримки прийняття рішень;  
СУБД – система управління базами даних;  
ТПБ – технологічний процес буріння;  
УЕВН – установка електровідцентрованих насосів;  
ШІ – штучний інтелект;  
CBR – case based reasoning;  
CIM – computer-integrated manufacturing;  
CIT – computational intelligence techniques;  
DS – data set;  
DM – Data Mining;  
ML – Machine Learning;  
MWD – Monitoring-While-Drilling;  
PCA – Principal components analysis;  
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition - диспетчерське керування та збір даних.



## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Незмінною ситуацією протягом останнього нестабільного періоду нафтогазової галузі є прагнення бурити і будувати більш продуктивні свердловини і робити це швидше і дешевше. Сучасні технології дозволяють вимірювати, збирати та зберігати все більші обсяги даних. Компанії виявляють, що складність та обсяг даних зробили завдання обробки великих даних є як трудомістким, так і витратним. Це особливо вірно у випадках, коли немає чітких цілей чи ціннісних пропозицій. Отже, проблема підвищення ефективності керування процесом буріння в аспекті інтерпретації даних з метою підтримки прийняття рішень на їх основі є актуальна для даної галузі і потребує побудови інтелектуальних моделей. Зростаючий обсяг даних, що генеруються на свердловині під час бурових робіт, дає можливість отримати нові і корисні ідеї, які можна знайти лише за допомогою методів аналізу даних засобами штучного інтелекту. Ці алгоритми можуть швидко сортувати, класифікувати та уточнювати те, що не завжди може бути відзначене людським досвідом, особливо в межах кількості шумних даних, які породжує такий невизначений процес як буріння. Це зумовлює необхідність послідовного переходу від системи знань, керованої досвідом, якою користувались бурильники, до системи керованої даними з застосуванням засобів штучного інтелекту, що дає можливість приймати більш ефективні рішення.

Розробкою автоматизованих систем прийняття рішень займались вітчизняні науковці Шекета В.І., Копистинський Л.О. Відкритою є аналітична проблема інтелектуальної функціональної підтримки прийняття рішень оператором, яку не можливо адекватно описати набором одночасних алгебраїчних рівнянь. Дослідження науковців Вовка Р.Б., Демчини М.М., Шавранського В.М., Гобир Л.М., Дмитриевского А.М., Еремина М.О., Столярова В.Е., Невмержицького О.В., G. Gola, R. Nybo Bloch присв'ячені аналізу моделей, орієнтованих на знання та методів підтримки прийняття рішень.

При моделюванні і дослідженні процесу буріння важливо врахувати рівень апріорної інформації, здійснити вибір параметрів контролю процесів буріння в розпізнанні шаблонів при виникненні відхилень процесу буріння.

Дослідженням питання визначення оптимальних значень режимних параметрів процесу буріння присвячені роботи як вітчизняних так і зарубіжних науковців Горбійчука М.І., Гутака О.В., Моркуна В.С., Семенцова Г.Н., Чесановського М.С., Мойсишина В. М., Рудака С.М., Шавранського В.М., Грибанова М.В., Рябчикова С.Я., Ефідеєва Г.М, Буслаєва Г.В., Павлова М.М, Куншина А.А., С. Jacinto, С. Cortez, Ch. Hegde, St. Dubiel, V. Uliasz-Misiak, Yanlong Li, P. Höhn.

Гостро стоїть питання визначення структурної схеми, функціональних зв'язків та особливостей процесу буріння з метою визначення повного набору даних необхідних для прийняття рішення, шляхом створення бази знань, яка має деталі представленого виробничого середовища, її використання також повинно слугувати для підвищення кваліфікації, судження та рівня досвіду нових та існуючих операторів. Визначення методу формування рішення на основі комплексу контрольованих параметрів, що якісно розв'язується за допомогою експертних систем, які працюють на основі накопиченого досвіду.

Підвищення рентабельності інвестицій є кінцевою метою рішення прийнятого на основі аналізу даних буріння.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження згідно дисертаційної роботи базується на основі тематичного плану кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). Тема дисертаційної роботи повністю відповідає науковим напрямам, які виконуються на кафедрі, зокрема науковим дослідженням у сфері систем і методів прийняття рішень, прогнозування, побудови інтелектуальних інформаційних систем: «Застосування методів математичного моделювання до процесів та технологічних і соціальних систем нафтогазового комплексу, та їх впливів на стан довкілля», № держреєстрації 0120U104436; «Наукові засади

побудови інтелектуальних інформаційних систем контролю та управління об'єктами та процесами нафтогазової інженерії на основі баз даних, баз знань та хмарних сховищ», № держреєстрації 0121U113584;

**Мета дослідження.** Підвищення ефективності технологічного процесу буріння шляхом формування об'єктивної оцінки даних моніторингу процесу з застосуванням багатофакторного (кейсбазованого) підходу та побудови моделі опрацювання сукупності поточних даних про хід процесу буріння засобами обчислювальної техніки.

Досягнення вказаної мети забезпечується в дисертаційній роботі шляхом розв'язання таких взаємопов'язаних **завдань**:

- оцінка сучасного стану моделювання технологічних процесів, засобів оцінки і інтерпретації результатів моделювання складних невизначених процесів, зв'язків компонентів системи;
- визначення необхідних і достатніх умов оптимізації основних показників адекватної математичної моделі процесу буріння для проектування інтелектуальної системи управління;
- розробка бази даних з різноманітними параметрами процесу (значення параметрів повинні охоплювати всю область допустимих значень для обраного процесу);
- розробка структури багатопараметричних кейсів, визначення важливості взаємозв'язків, залежностей та впливу на критерій, що визначає рівень ефективності рішення;
- формування концептуальної моделі процесу роботи оперативного і диспетчерського персоналу, що задіяні в технічних процесах буріння НГС, що враховує необхідність досягнення великого числа цілей, яка призводить до виникнення багатокритеріальної ситуації при прийнятті рішень;
- імплементація моделі опрацювання сукупності поточних даних про хід процесу буріння засобами обчислювальної техніки на основі теорії автоматизації, методів обробки та аналізу даних що враховує критичність



показника об'єму даних та забезпечує необхідний рівень опрацювання даних;

- підтвердження ефективності запропонованих методів та рішень.

**Об'єкт дослідження** - невизначений стохастично-хаотичний динамічний технологічний процес буріння.

**Предмет дослідження** - модель знання-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень, що визначає вигідну стратегію буріння нафтових свердловин.

**Методи дослідження.** В основу досліджень та для реалізації завдань дослідження покладено методи порівняльного та системного аналізу; об'єктно-орієнтованого моделювання даних і знань, міркувань на основі моделей, міркувань на основі прецедентів, математичного (аналітичного) моделювання, ситуаційного та автоматизованого комп'ютерного навчання, теорії оптимізації та теорія баз даних і методи об'єктно-орієнтованого програмування. Пошук та виявлення прецедентів в історичних даних при побудові інтелектуальних моделей здійснено з використанням методу кластерного аналізу.

**Наукова новизна дослідження.** Сучасні автоматизовані системи передбачають отримання раціональних або оптимальних значенні керованих параметрів. Принципова відмінність запропонованих моделей інтелектуальної системи управління процесом буріння, полягає в відсутності заздалегідь встановлених або відомих значень. Інтелектуальне управління бурінням передбачає обробку поточних значень режимних параметрів і властивостей ґрунту з отриманням значень оптимальних режимних параметрів і мінімальної собівартості буріння.

В дисертації *удосконалено* визначення багатofакторних взаємозалежностей режимних параметрів, що використовуються при прийнятті рішень технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин;

*вперше:*

- запропоновано розширення прецедентного методу знаходження рішення засобами міркувань на основі моделей, що містить інформацію про

залежності між предметними сутностями, процесами, явищами та підсилені змодельованими ситуаціями;

- розроблено модель, що враховує в явному вигляді параметри процесу, що забезпечує визначення оптимального режиму;

*отримали подальший розвиток* методи розв'язання багатокритеріальних і багатоцільових задач за рахунок використання методу аналізу співвідношень, який забезпечує визначення важливості цілей і підвищує ефективність прийняття рішень.

### **Практичне значення отриманих результатів**

В результаті комплексу дослідження теоретичного матеріалу, опрацювання промислових геологотехнічних даних зі свердловин, комп'ютерного дослідження представлені моделі засновані на принципах штучного інтелекту, що можуть бути використані для побудови адекватної системи, яка дозволяє прогнозувати та здійснювати підтримку прийняття рішень співробітникам служби оперативної інженерно-технічної підтримки технологічного процесу буріння. Визначено співвідношення значень відповідного набору технологічних показників і оптимальних значень основних режимних параметрів процесу буріння, що може бути використано інженерним персоналом на діючих нафтогазових підприємствах. Операції по знаходженню оптимальних значень режимних параметрів системою виконуються постійно з деяким дискретним інтервалом, що дозволяє використовувати інтелектуальну систему в постійному режимі для здійснення управлінського впливу змінюючи значення режимних параметрів, в результаті чого поточне значення визначеного критерію постійно наближається до оптимального. Реалізовано запропоновані моделі у вигляді програмного рішення, яке дозволяє досягти оптимізації технологічного процесу в розрізі питань безпеки, ефективності та собівартості будівництва свердловин.

Майбутній розвиток представленого дослідження може бути направлений на розширення можливостей системи в розрізі питань прогнозування - визначення майбутньої продуктивності свердловини, розширення кола користувачів інтелектуальної системи, розширення можливостей керування на відстані –

мобільний доступ, що на даний час стримується забезпеченням підтримки достатнього рівня інформаційної безпеки.

### **Особистий внесок здобувача**

Всі теоретичні та практичні результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. Пошук та аналіз літературних джерел за тематикою дисертаційного дослідження, розроблення інформаційних технологій, моделей та методів вирішення завдань оптимізації характеристик буріння виконано автором особисто.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні результати дослідження доповідались і обговорювались та отримали позитивну оцінку на 6-му міжнародному міжвузівському семінарі «Методи та засоби діагностики в техніці та соціумі» (Івано-Франківськ 17-18 грудня 2018 року); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (Дніпро, 1-2 листопада 2018р); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту, присвячена 50-річчю кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій» (Івано-Франківськ, 17-19 жовтня 2018р.); II Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції «Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання» (Тернопіль, 8-9 листопада, 2018 р.); VII Міжнародній науковій конференції «Інформація, комунікація, суспільство 2018: ICS-2018 (Львів, 2018); 14th International Scientific and Technical Conference CSIT-2019 «Computer Sciences and Information Technologies» (Lviv, 17-20 September, 2019); 14-ий міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та імітаційне моделювання систем – МОДС 2019» (Чернігів, 2019.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» - ІТОТП-2020 (Івано-Франківськ, 8 жовтня 2020); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (Дніпро, 4 листопада 2020р.); міжнародному семінарі International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science (MoMLeT&DS'2021) (Lviv-Shatsk, Ukraine, June 5-6,

2021); XXII Conference of PhD Students and Young Scientists (Wroclaw, Poland June 29 – July 01, 2022).

З метою підтвердження ефективності запропонованих методів та рішень виконано впровадження результатів дисертаційного дослідження в НДПІ ПАТ "Укрнафта" та отримані результати дослідження прийняті до впровадження і застосовуються у навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, що підтверджено відповідними актами впровадження.

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 19 робота, включаючи 6 статей у провідних фахових журналах України, з них 2 одноособові, 3 статті у зарубіжних виданнях, індексованих міжнародною базою цитування Scopus, 1 – у іноземному періодичному виданні (Польща), 9 в працях всеукраїнських і міжнародних конференцій та семінарів.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 153 найменування, додатків. Загальний обсяг роботи становить 227 сторінки, включаючи 35 рисунків і 10 таблиць, 7 додатків, із яких 153 сторінки – основного тексту.

## РОЗДІЛ 1

### СУТНІСТЬ ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ

#### 1.1. Сучасний стан формалізації завдань керування та вибір критеріїв оцінки технологічного процесу буріння

Сучасне виробниче середовище є надзвичайно складною сутністю з великими обсягами даних. Застосування інструментів моделювання особливо актуально в області розробки складних систем з великим масивом даних та багатofакторністю, якою є нафтогазовидобувна галузь, що характеризується високим ступенем складності в прийнятті управлінських рішень.

Традиційно при розробці родовищ вуглеводнів дані отримуються з різних джерел, після обробки та аналізу формуються кілька різних моделей геологічні, геофізичні, гірничодобувні та модель покладів. Підходи при прийнятті рішень, що застосовуються в різних нафтовидобувних компаніях, часто істотно відрізняються. Інтеграція цих моделей зумовлює значний прогрес у нафтовій промисловості, що веде до вдосконалення процесу буріння. З відомих даних, загально визнаної моделі процесу буріння немає, однак широке коло науковців працюють над моделюванням процесу буріння.

Кращі інструменти та нові технології, такі як робочі станції та інтегроване програмне забезпечення, мінімізують бар'єри між різними моделями [2].

Згідно аналізу дослідження [3] із відомих типів моделей (концептуальних, фізичних, математичних) широке застосування у практиці буріння отримали математичні моделі, які у формалізованому вигляді встановлюють кількісні і якісні співвідношення між фізичними процесами, що відбуваються в механічній, гідродинамічній, електричній підсистемах бурової установки як складного технологічного комплексу, що функціонує за умов невизначеності. Основним процесом, який є об'єктом формалізації за допомогою технологічних моделей, є процес взаємодії долота з гірською породою на вибої свердловини.

У нафтогазовидобувній промисловості розрізняють ручний, автоматизований, інтелектуальний способи керування процесом буріння свердловин. Найбільш поширеним в умовах України є ручний спосіб, коли процесом буріння керує оператор-бурильник, спираючись на геолого-технічний наряд, а також на інструкції, власний досвід й інтуїцію. Автоматизований спосіб керування процесом буріння передбачає стабілізацію як правило, однієї з керувальних дій.

Основою для створення моделей інтелектуального способу керування є отримання, обробка та накопичення геолого-технологічної інформації у вигляді бази даних для її подальшого використання засобами сенсорного обладнання.

Під час буріння збираються та обробляються дані, які отримуються з таких джерел:

- контрольно-вимірювальна лабораторія (система реєстрації, що дозволяє автоматично контролювати, збирати та обробляти геологічні дані, депозитні та бурові дані);

- геологічні дослідження (аналіз ядра та випробування крихти, властивості вуглеводнів та спостереження за скруббером);

- дослідження свердловинної геофізики, що дає багато інформації про пластові властивості гірських порід;

- попередні виверження надає інформацію про родовище (значення пластового тиску та типу пластової рідини);

- дослідження кабельними та трубними зондами покладів виконаних на виході з свердловини (пробна експлуатація).

Блок-схема представляє питання, що стосуються техніки та технології розробки родовища вуглеводнів та елементів прийняття рішень, рекомендованих під час буріння (рис.1.1).

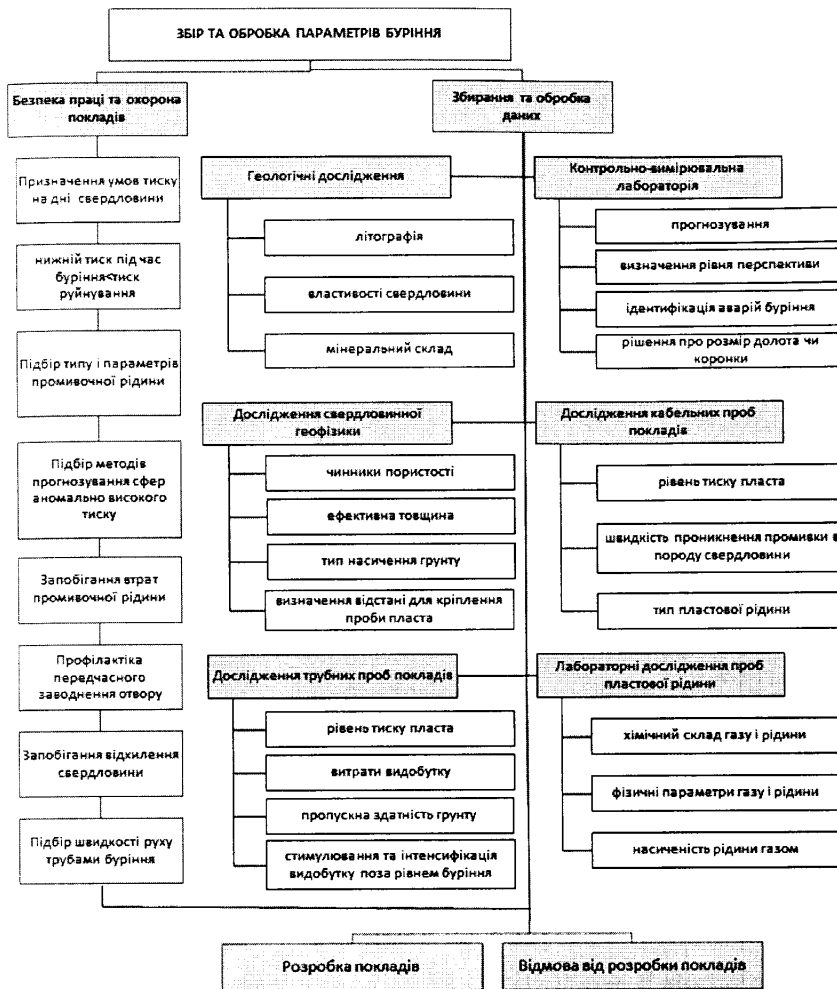


Рис. 1.1. Діаграма проблем буріння в продуктивних горизонтах

Визначення даних про процес буріння в реальному часі та розвиток сенсорних технологій - це питання досліджень, пов'язаних з оптимізацією, надійністю та безпекою буріння нафтових свердловин, що робить можливим діагностування проблем та моделювання інтелектуальної автоматизованої системи керування.

Існують різні способи отримання і передачі геолого-технологічної інформації для розрахунку за місцем буріння і віддалено, організації каналів передачі в спеціалізовані центри буріння:

- параметри реєструються автоматично за допомогою датчиків, що монтуються безпосередньо на території бурової (в основному це режимні параметри буріння). Дискретність реєстрації задається на рівні програмно-апаратного комплексу;

- параметри реєструються автоматично за допомогою апаратури, що знаходиться на станції ГТВ, наприклад блоку газового каротажу;
- параметри вимірюються вручну за допомогою спеціальних приладів. Виміряні значення геологічних параметрів заносяться вручну або автоматично (для комп'ютеризованих приладів) в програми для їх обробки і візуалізації;
- параметри обчислюються за допомогою апаратно-програмного комплексу і можуть бути технологічними, геологічними, техніко-економічними і параметрами газового каротажу [4].

Комп'ютерне обладнання при цьому забезпечує можливість безперервної реєстрації та візуалізації. Реальні показники можуть відрізнитися при заданій частоті фіксації даних з давачів і заданій частоті реєстрації в режимі реального часу розробки свердловини і мають забезпечувати виконання програм по інтерпретації даних. Проведена рання діагностика відхилень від проектних показників розробки в автоматизованому режимі здатна забезпечити технологічну та екологічну безпеку персоналу і обладнання на всіх стадіях буріння.

Сенсорні системи свердловини - комплекс підземного обладнання, що складається з

- активних пристроїв контролю видобутку (Inflow Control Valves - ICV);
- зональної ізоляції за допомогою пакерів з наскрізним проходом, ізолюючих окремі інтервали перфорації;
- забійних (заглибних) систем стеження в реальному часі - свердловинні цифрові (Permanent Gauges) і оптоволоконні системи (Distributed Temperature Sensing -DTS);
- автоматичних систем безпеки, телеметричного обладнання.

За допомогою давачів бурового обладнання, що передають інформацію про навколишню породу за непрямыми параметрами в процесі будівництва може бути уточнена геологія пласта і приймається рішення про коригування траєкторії буріння, щоб весь час залишатися в межах нафтового пласта. Геологічні дослідження проводяться шляхом оперативного дослідження шламу та керну на буровій. Технологічні параметри реєструються, в режимі реального часу (рис.1.2).



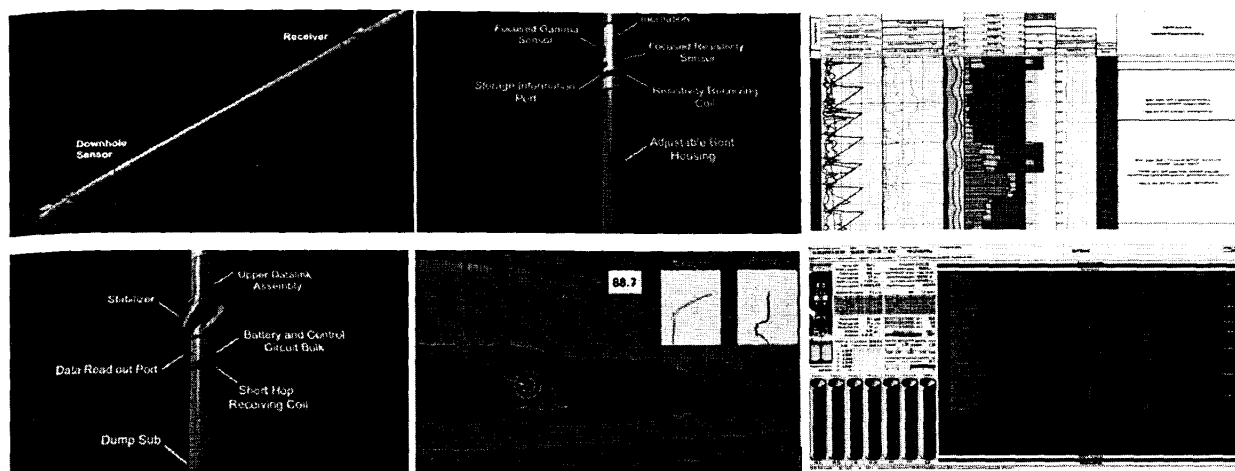


Рис. 1.2. Отримання даних під час буріння

Застосування інформації з сенсорів дозволяє організувати безперервний диспетчерський автоматичний контроль процесів і якості буріння, створити єдиний інформаційний простір даних для більшості технологічних операцій та процесів, організувати спеціалізовану базу даних і користувачів відповідно до конфігурації, аналізувати досягнуті техніко-економічні показники, а також створювати реальні 3D-моделі продуктивних пластів родовища, визначати і своєчасно коригувати основні показники розробки, знизити ризики по оцінці запасів і технологічного режиму експлуатації. Крім того забезпечує можливість прогнозу та його точність щодо ускладнень і попередження, шляхом отримання інформації з дослідження складу і властивостей пластових флюїдів і гірських порід в циркулюючої промивної рідини на різних етапах будівництва свердловин з прив'язкою результатів досліджень до часу контрольованого технологічного процесу і розрізу досліджуваної свердловини.

Залежність системи прийняття рішень (ручне, автоматизоване, інтелектуальне) і обсягів інформації, що отримуються з сенсорів бурового обладнання приведено в таблиці 1.1 [4].

Буріння свердловин є складним багатопараметричним процесом, що залежать від технічних характеристик долота, бурового агрегату, фізико-механічних властивостей породи і режимних параметрів. Параметри, що розглядаються при оптимізації процесу буріння повинні надійно реєструватися і фіксуватися безпосередньо при бурінні, а також оперативно впливати на інші

параметри процесу буріння. Параметри буріння розділяються з позиції можливості зміни – змінні та незмінні та з позиції режиму буріння, тобто зміни в конкретний момент - контрольовані та неконтрольовані (табл.1.2).

Таблиця 1.1.

## Класифікація свердловин в залежності від способу керування

Параметри	Ручна система керування	Автоматизована система керування	Інтелектуальна система прийняття рішень
Кількість сенсорів	До 5	До 15	До 50000
Розташування датчиків	Гирло	Гирло, забій	По колоні від гирла до забою
Тип інформації	Аналоговий	Аналоговий/Цифровий	Цифровий
Тип передачі інформації	Аналоговий	Аналоговий	Цифровий
Об'єм інформації	Кб	Мб	Гб
Використання телеметрії	Немає	Елементи	Повний контроль
Системи штучного інтелекту	Немає	Нечітка логіка	ШІ, віртуальні середовища

Таблиця 1.2

## Класифікація параметрів технологічного процесу буріння

Змінні (керовані)	Незмінні
Тип бурового розчину	Клімат
Вміст твердих речовин	Локалізація
В'язкість розчину	Умови установки
Витрата розчину	Гнучкість оснащення
Густина розчину	Їдкі свердловинні гази
Гідравліка	Температура на забої
Тиск насоса	Час спуско-підйомних операцій
Навантаження на гак	Властивості ґрунту
Швидкість циркуляції	Характерні ускладнення на свердловині
Тип долота	Наявність води
Навантаження на долото	Продуктивність покладу
Обертובה швидкість	Глибина

Контрольовані параметри режиму буріння, можна змінювати з пульта бурильника в процесі роботи долота на вибої, і некеровані фактори, встановлені на стадії проектування будівництва свердловини, їх не можна оперативно змінювати. Перші називаються керованими, їх певне поєднання, при якому

здійснюється механічне буріння свердловини визначає режим буріння. Режим буріння, що забезпечує отримання найкращих показників за даних умов буріння, є оптимальним.

Контрольовані (динамічні) параметри включають навантаження на долото, швидкість обертання, крутний момент, тиск в трубі.

Неконтрольовані (статичні) параметри включають розмір долота та тип, густина та реологічні властивості бурової рідини. Некеровані параметри впливають один на одного, що ускладнює кількісну оцінку їх впливу на швидкість буріння.

Кожен напрямок оптимізації взаємопов'язаний з декількома параметрами. Фіксація даних польових досліджень є найкращим способом зрозуміти взаємозв'язок між факторами буріння за сукупності жорстко контрольованих умов. Математичні методи показали свої можливості моделювання їх складних взаємозв'язків у процесі буріння. Дослідження [5] висвітлює вплив режимних параметрів на механічну швидкість буріння. Встановлено, що оптимальне поєднання осьового навантаження на ґрунторуйнуючих інструмент і його частоти обертання, забезпечує максимальну швидкість буріння. Розроблено методіку визначення поправочних коефіцієнтів для завдання раціональних значень осьового навантаження на зміцнений ґрунторуйнуючий інструмент.

Результати аналітичних узагальнень і оцінки проведені в науково-дослідних роботах [6,7] доводять, що технологічний процес промивки стовбура, забезпечує інші технологічні процеси буріння свердловини, в значній мірі визначає їх ефективність, а в підсумку - якість і вартість свердловини.

Робота [8] присвячена вивченню особливостей гідродинамічних умов буріння свердловин, від яких багато в чому залежать ефективність і якість застосовуваних традиційних і нових технологій бурових робіт. Застосування систем прийняття рішень у процесі буріння є можливим, якщо потужності бурової установки достатні для забезпечення адекватної гідравлічної характеристики. Бурова установка повинна бути здатною забезпечити необхідну швидкість

обертання бурової колони і через обладнання низу бурової колони достатнє осьове зусилля на долото.

В роботі [9] проведено дослідження щодо підвищення ефективності процесу буріння глибоких свердловин за допомогою вдосконалення і реалізації методів і програмних засобів оптимізації параметрів режиму буріння свердловин. В роботі запропоновано шляхом обробки експрес методом діаграм буріння визначати базу даних по оцінці буримості гірських порід.

В дослідженні [3] доведено, що використання сучасних методів керування процесом буріння нафтових і газових свердловин, які ґрунтуються на використанні сучасних ІТ-технологій, забезпечує зниження до 25% витрат на спорудження свердловини.

Дослідження проведені в роботі [10] присвячені ефективності застосування телеметричних систем при бурінні, впровадженню засобів автоматизації. Інформаційне забезпечення процесу буріння включає в себе збір, обробку, передачу та аналіз інформації про гірничо-геологічних, технологічних, техніко-економічних, інclinометричних і інших параметрах.

В роботі [2] представлені теоретичні основи та елементи інтегрованого управління вуглеводневими пластами з урахуванням використовуваних технологій, джерел даних, дослідницьких інструментів та складу групи управління. На основі аналізу промислових даних та власного досвіду авторів сформульовано діапазони проблем належного буріння та випробування родовищ вуглеводнів.

В дослідженні [11] розглянуто питання отримання і правильного використання комплексної геолого-технологічної інформації з метою оперативного прийняття рішень при бурінні свердловин, проблеми ефективності роботи долота в залежності від характеру цієї інформації. Запропоновано методика і алгоритм вибору долота і режимних параметрів як найважливішого чинника оптимізації і зниження вартості бурових робіт для конкретних умов буріння. Проведено аналіз зміни механічної швидкості в часі, впливу режимних параметрів на початкову механічну швидкість і темп її загасання з побудовою

статистичної моделі. Доведено, що на основі комплексної геолого-технологічної інформації алгоритм прогнозування дозволяє приймати рішення про вибір оптимальних значень режимних параметрів, при яких забезпечуються максимум швидкості буріння і мінімум вартості 1 м проходки.

В дослідженні [12] відповідно до граничної сили рівноваги гірської породи під час обертвого буріння та за допомогою методу енергетичної рівноваги було виведено залежність між ефективністю вертикального буріння та параметрами буріння, такими як швидкість обертання, сила тяги та момент обертання. Завдяки вдосконаленню системи моніторингу процесу буріння вдалося швидко, ефективно та кількісно отримати параметри буріння під час буріння гірських порід.

Основи формування моделювання процесу буріння у вітчизняній практиці наведені в роботі [13]. Де визначальним було встановлення В.С. Федоровим залежності механічної швидкості буріння  $V$  від навантаження на долото  $G$  і частоти його обертання  $n$ . В.С. Федоровим отримана емпірична залежність

$$V = an^xG^y, \quad (1.1)$$

де  $x$ ,  $a$ ,  $y$  – коефіцієнти, які враховують характеристики гірського масиву і спосіб буріння; за даними Л.І. Штурмана при турбінному бурінні в породах Каширської світи  $x = 0,7$ ;  $y = 1,1$ ;  $a = 0,0024$ .

Відомі понад шістнадцять формул залежності швидкості буріння від навантаження на долото і частоти його обертання, включаючи формулу В.С. Федорова (за даними Л.І. Штурмана і версії Р.А. Бадалова) і формулу буріння Ю.Ф. Потапова і В.В. Симонова. Версію моделі розробили В.К. Маурер, Ван-Лінген, А. Вудс, спільно Еккель, Кеннон і Бінгстейн, також Вардрук і Кеннон. Свої версії запропонували Кетлін, Мюррей, Каннінгхем, Брентлі і Я.А. Гельфгат зі співавторами. Д.С. Роулі, Р.Дж. Хоу і Ф.Х. Діллі розробили спільну модель, самостійно Симон і А.А. Погарський. Р.М. Ейгелес розробив п'ятнадцять моделей.

## 1.2. Інтелектуальний підхід до оптимізації характеристик буріння при автоматизації технологічного процесу

Моделі оптимізації характеристик буріння можна класифікувати на дві категорії, традиційні моделі, що використовують емпіричні кореляції та моделі, керовані даними. Традиційні моделі - це математичні функції, засновані на лінійній регресії, тоді як моделі, керовані даними, використовують методи штучного інтелекту (ШІ) для оцінки коефіцієнта видобутку як функції параметрів буріння, характеристик пласта та/або властивостей бурового розчину.

При побудові моделей оптимізації було розглянуто можливість використання таких засобів оптимізації на основі комп'ютерних технологій як елементи лінійної алгебри, диференціальне числення, математичний аналіз, методи математичної статистики, теорія матриць, методи і теорія планування експерименту.

Моделі на основі диференціальних змінних та диференціальних рівнянь дозволяють виражати зміну параметрів у часі та описувати залежності між параметрами. В цілому підхід з точки зору імперативної виконуваності підхід є ефективним, але обчислювальна природа диференційованого підходу дуже не ефективна в термінах штучного інтелекту таких як розмірковування, висновок, рішення на основі логіки. Тому з практичної точки зору розробка моделі лише на використанні диференційних залежностей є неефективною. Замість цього в дослідженні розглядається алгебраїчно-предикатний підхід, в якому замість рівнянь моменту застосовується підхід кейсів нечітких параметрів. Такий підхід передбачає проектування бурових робіт з позицій накопиченого досвіду виробництва і традиційних підходів проектування. Підхід прийняття рішення за аналогією дозволяє отримати кількісну оцінку шляхом порівняння керованих параметрів даної задачі з її прототипом з проекту або виробництва.

Більшість математичних моделей, представлених у дослідженнях за останні роки, використовують у своїх розрахунках від двох до восьми вхідних параметрів.

В дослідженні [14] розглядаючи, які змінні вибрати для математичної оптимізації, досвід та дослідження пропонують шість: чотири змінні та дві незмінні: властивості бурового розчину, параметри гідравліки, навантаження на долото, тип долота і тип гірської породи, глибина свердловини. Основні інтерактивні ефекти між цими змінними були визначені за допомогою експериментальних факторів. Змінні взаємодії існують, коли одночасне збільшення двох або більше змінних не дає адитивного ефекту порівняно з окремими ефектами.

Для оптимізації процесу буріння свердловин в дослідженні [15] запропоновано метод в основу якого покладено адаптивну нейро-нечітку модель, навчання якої здійснюють на основі результатів каротажу із застосуванням ультразвукових, ядерно-фізичних та магнітометричних тестових вимірювань та з урахуванням з оперативних параметрів силової установки у процесі буріння.

Для опису складних процесів руйнування гірських порід застосовано безрозмірний енергетичний критерій маятникових хвиль і геомеханічного квазірезонансу, що дає кількісну оцінку оптимального енергетичного діапазону, що спрямовується бурильною установкою до бурового інструменту. При розрахунку енергетичного критерію об'ємного руйнування гірської у процесі буріння використовується інформація про характеристики гірських порід, що буряться і параметри функціонування бурової установки. Важливим є визначення переліку параметрів, які необхідно враховувати у процесі оптимізації процесу буріння свердловин.

Використання бінарної структури - швидкість буріння і крутний момент є не достатніми входними параметрами для ефективної оцінки і точності ідентифікації. Використання 8 входів дозволяє досягти точності моделі в 91%. В моделі визначено наступні параметри буріння: міцність породи, глибина, ущільнення пласта, перепад тиску, осьове навантаження на долото, частота обертання, зношування долота, гідравлічний показник. Серед керованих параметрів процесу буріння виділяють відношення навантаження на долото до його діаметру та частоту обертання [8].

В роботі [16] сформульовано метод обчислення невизначеності прогнозування швидкості проникнення і оцінюються два різні підходи до прогнозування швидкості проникнення: підхід моделювання, заснований на фізиці та на основі даних. В роботі три моделі на основі фізики або традиційні моделі порівняно з моделями, керованими даними. Моделі, керовані даними, побудовані за допомогою алгоритмів машинного навчання, використовуючи для вимірювання швидкості проникнення входні функції - навантаження-долото, оберти - швидкість потоку. Обидві моделі використовуються для прогнозування швидкості проникнення; моделі порівнюються між собою на основі точності та ефективності використання. На основі результатів цих симуляцій було зроблено висновок, що керовані даними моделі є більш точними та забезпечують кращу відповідність, ніж традиційні моделі. Моделі, керовані даними, працюють краще із середньою помилкою 12% та покращують прогноз швидкості буріння від 0,12 до 0,84.

Дослідження [17] всебічно оцінює стан методів, керованих даними, у нафтогазовій промисловості, а також останні досягнення та застосування. Це дослідження описує розвиток цих методів з основ, теорії та перспектив застосування, а також їх історичне визнання та використання в галузі.

Останнім часом набуває значного інтересу застосування штучного інтелекту для точного прогнозування швидкості проникнення. Тому ряд досліджень в останні роки пропонують використовувати моделі, керовані даними, із поля штучного інтелекту для прогнозування та оптимізації ROP.

Методи, що запропоновані згідно сучасних досліджень [18], поєднують моделі, орієнтовані на дані, які не мають апіорних знань про буріння, та традиційні фізичні моделі, що побудовані на знаннях. Моделі на основі підходу орієнтованому на дані здатні використовувати інформацію, притаманну минулим даним тимчасових рядів свердловин, великий і недостатньо використаний ресурс для більшості бурових робіт компанії.

В роботі [19] методи ШІ класифіковано на чотири основні категорії: еволюційні алгоритми, ройовий інтелект, нечітку логіку та штучні нейронні



мережі і розглянуто їх застосування в нафтовій галузі. В роботі доведено ефективність методів ШІ при оптимізації різних цільових функцій, важливих для прийняття промислових рішень, включаючи мінімальний тиск змішуваності, швидкість видобутку нафти,  $\text{CO}_2\text{CO}_2$ секвестрація.

У роботі [20] розглядаються різні стратегії та алгоритми оптимізації для оптимізації в реальному часі цільової функції (функції, що оптимізується), специфічної для буріння. Оптимізована тут цільова функція походить від моделі, керованої даними (або машинного навчання) з невідомою функціональною формою. Модель ROP на основі даних побудована з використанням алгоритмів машинного навчання; виміряні параметри буріння [навантаження на долото (WOB), обертів в хвилину (об/хв)].

Висновки зроблені в роботі [21] свідчать, що оптимізація швидкості проникнення (ROP) свердловини, не завжди може бути найкращою стратегією оптимізації буріння загалом. В роботі розглянуто ще дві додаткові стратегії (або моделі) з оптимізацією реакції крутного моменту на долоті (TOB) для зменшення вібрацій у долоті та оптимізації питомої механічної енергії (MSE) для зменшення енергії, яку використовує долото. Ці три моделі ROP, TOB та MSE для оптимізації буріння побудовано з використанням підходу, керованого даними, з алгоритмом «random forests» з використанням робочих параметрів буріння, таких як навантаження на долото, швидкість потоку, швидкість обертання та міцність гірських порід як вхідні дані. Моделі буріння оптимізовані з використанням мета-евристичного алгоритму оптимізації для обчислення ідеальних робочих параметрів буріння. Результати показують, що оптимізація моделі ROP в середньому призводить до поліпшення ROP на 28%, однак це також збільшує MSE та TOB, що є небажаним. Оптимізація моделі MSE призводить до (меншого) збільшення ROP (20%). Це супроводжується зменшенням MSE (на 15%) та зменшенням TOB (на 7%), що може призвести до збільшення тривалості життя бітів та додаткової економії з часом.

В роботі [22] досліджено кілька методів обчислювального інтелекту (computational intelligence techniques CIT) для прогнозування ROP, а саме штучна

нейронна мережа (ANN), екстремальна навчальна машина, регресія опорного вектору та регресія опорного вектору найменшої площі. Згідно результатів цієї роботи легкодоступні параметри буріння мають величезне значення для забезпечення прийнятних показників у розробці моделі ROP із CIT.

У роботі [23] представлений доведено, що гібридизація та/або поєднання різних методів ШІ, які можуть бути успішно застосовані для вирішення важливих задач оптимізації та отримання кращих рішень буріння.

Удосконаленню моделей та програмних рішень по оптимізації параметрів буріння свердловин присвячено ряд робіт науковців Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

У роботі [24] розроблено теоретичні основи та формальні інформаційні моделі для методології моделювання підтримки прийняття рішень у середовищі знання-орієнтованих інформаційних технологій, що базується на методах і алгоритмах контролю та модифікації керованих змінних режиму процесу буріння НГС на основі сформованих та динамічно оновлюваних сутностях знань з формалізованим експертним досвідом висококваліфікованих операторів технологічного процесу буріння.

У роботі [25] представлено удосконалену структуру системи автоматизованого керування процесом буріння свердловин електробурами, яку можна використовувати для буріння нафтових і газових свердловин, а також на сланцевий газ. Вона передбачає статичну оптимізацію процесу поглиблення свердловини на основі поточної інформації даних геолого-технічного наряду, що закладені в локальну базу даних, та архівних даних, що містяться в базі даних. Розроблено функціональну структурну систему для керування процесом буріння свердловини, за допомогою якої оптимізується вибір режиму буріння та покращується процес керування бурінням.

Багатофакторна математична модель механічної швидкості буріння свердловин представлена в роботі [26]. Де розглянута комбінація змінних чинників, до яких відносяться осьове статичне навантаження, частота обертання долота і жорсткість колони, постійні чинниками моделі були витрата

промивальної рідини, тип і діаметр тришарошкового долота та твердість гірської породи.

Одним з перспективних інструментів для підвищення ефективності буріння є обробка даних за допомогою методів машинного навчання. Існує безліч методів машинного навчання, так за результатами дослідження [27] розроблено програмне забезпечення, засноване на статистиці методу Монте-Карло, що дозволяє проектувальнику свердловин оцінити тривалість буріння та завершення, а також витрати на оренду бурової установки. Стохастичне моделювання є важливим аспектом. Це дозволяє системі отримати реалістичну та майже оптимальну продуктивність буріння.

В роботі [28] запропонували стохастичну математику модель для визначення кількості свердловин, які потрібно пробурити з часом. Вони використовували стохастичне динамічне програмування та моделювання Монте-Карло для створення стратегій буріння та їх оцінки відповідно.

В дослідженні [29] розглянуто застосування моделі штучної нейронної мережі в нафтогазовій галузі. В даному дослідженні на вхід нейронної мережі узято 21 параметр: осьове навантаження, швидкість обертання, диференціальне тиск, щільність верхніх гірських порід, глибина свердловини, тиск на буровому насосі, ЕЦП, діаметр свердловини, буримість порід, проникність, пористість, тип бурового розчину, пластична в'язкість бурового розчину, динамічна напруга зсуву бурового розчину, статичне напруження зсуву, зміст твердої фази в розчині, рН бурового розчину, а також тип, знос і гідравлічна потужність долота. Аналіз швидкості буріння в режимі реального часу по сукупності наведених параметрів дозволяє інженеру по бурінню вибирати осьову навантаження, частоту обертання і властивості бурового розчину, які будуть забезпечувати найбільш ефективне руйнування гірських порід.

Основна перевага нейромереж при обробці даних - це можливість використовувати дані зі складною взаємозалежністю. Але при цьому критичним стає якість набору даних для обробки, які повинні охоплювати всі можливі варіанти розв'язуваної задачі.

Метод оптимізації параметрів буріння, заснований на теорії CBR, робить інженерну інженерію буріння та аргументацію обставин органічною інтеграцією. Цей метод є дуже значущим для вирішення невизначеності при бурінні, а також покращує застосування аргументації рішення та забезпечує новий метод дослідження для оптимізації параметрів буріння.

Виходячи з технологічної проблеми параметризації в галузі буріння нафтових і газових свердловин, слід використовувати відповідну методологію міркувань, щоб мати змогу знайти минулі подібні випадки з метою багаторазового або модифікованого її Використання нове рішення для поточних проблем (наприклад, вибір режиму буріння: вимушений, оптимальний, раціональний тощо) [30].

Згідно висновків наведених в роботі [31] в області штучного інтелекту для автоматизації пошуку та прийняття рішень на основі аналогій ефективно використовується метод, який отримав назву виведення рішень на основі прецедентів, або, як представлено в зарубіжній літературі, case based reasoning (CBR).

Згідно роботи [32] знання слід організовувати навколо найбільш важливих об'єктів предметної області. Всі знання, що характеризують деяку сутність, зв'язуються і подаються вигляді окремого об'єкту. Якщо системі потрібна інформація про деяку сутність, то вона спочатку шукає об'єкт, що її описує, а потім вже всередині об'єкту шукає інформацію про дану сутність. В об'єктах, в свою чергу, виділяють два типи зв'язків між елементами – зовнішні і внутрішні. Внутрішні зв'язки об'єднують елементи в єдиний об'єкт і утворюють його структуру. Зовнішні зв'язки відображають залежності, що існують між об'єктами в предметній області. Зовнішні зв'язки поділяють на логічні і асоціативні. Логічні зв'язки виражають семантичні відношення між елементами знань. Асоціативні зв'язки забезпечують взаємозв'язки, що прискорюють пошук релевантних знань. Кожен виділений об'єкт предметної області володіє певними характеристиками та властивостями. Наприклад в бурінні, для об'єкту “родовище” типовими

атрибути є глибина залягання, вік, літологія тощо. Атрибути набувають конкретних значень.

У роботі [32] представлений огляд різних застосувань аргументації на основі конкретних випадків (CBR) у нафтовій техніці з акцентом на процесі буріння на основі опитування та порівняльної оцінки різних застосувань.

Дослідження [33] присвячено підвищенню ефективності буріння засобами алгоритмів машинного навчання. Система поглинає історичні дані та дані моделювання, що відповідають використаної інформації та діям, здійсненим спеціалістами буріння, і використовує ці дані для формування рішень, що призводять до ефективного буріння зсуву. Значна частина даних щодо процесу буріння записується в журналах буріння, які оператор буріння традиційно використовує для контролю параметрів буріння. Потім зібрані дані фільтруються та використовуються для структурування та вибору відповідних гіперпараметрів. Для імітації механіки буріння в дослідженні була використана обчислювальна модель бурильної колони.

В роботі [34] розглядається метод виведення рішення по прецедентам, як інструмент підтримки прийняття рішень при проектуванні та моделюванні родовищ нафти і газу. Пропонований підхід дозволяє мінімізувати вплив людського фактору, об'єктивізувати процес прийняття рішення, оскільки передбачає використання суворо формалізованої процедури з кількісним обґрунтуванням схожості порівнюваних об'єктів і розглядом всіх доступних в базі прецедентів. Інструмент підтримки прийняття рішень у вигляді CBR-системи і бази родовищ-прецедентів може бути задіяний на всіх стадіях проектування розробки родовищ, де необхідний вибір об'єкта-аналога, а не тільки при моделюванні.

Головними перевагами методів на основі штучного інтелекту в порівнянні з традиційними економетричними моделями є:

- контекстуальна обробка інформації;
- адаптивність моделей і їх здатність до навчання;
- відсутність необхідності попередньої обробки даних;

- автоматичний вибір оптимальної моделі.

За допомогою методів штучного інтелекту стає можливим перебрати значно більшу кількість моделей, при цьому машина може одночасно застосовувати різні комбінації методів (наприклад, нейронні мережі спільно з методом опорних векторів).

При введенні нових технологій в експлуатацію, завжди необхідно інтегруватися. Діаграма (рис. 1.3) ілюструє, як архітектура СІМ відповідає потребам інтеграції підприємства.

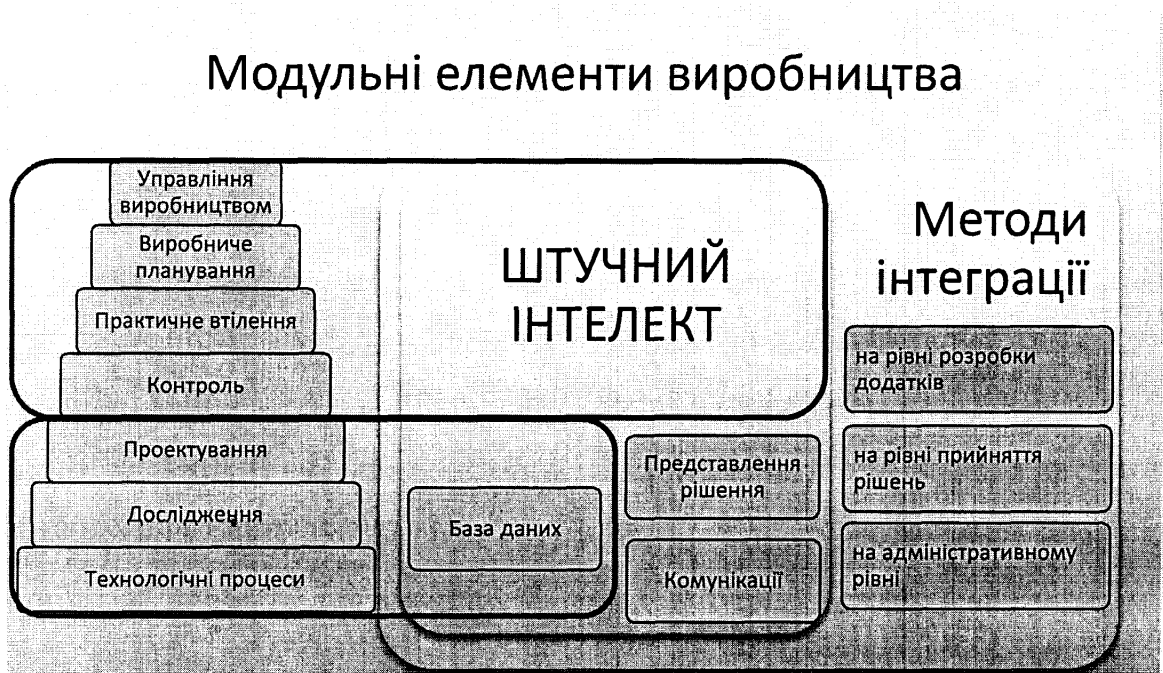


Рис. 1.3. Інтеграція ШІ при побудові інтелектуальної автоматизованої системи на основі архітектури СІМ (computer-integrated manufacturing)

СІМ архітектура забезпечує ядро загальних послуг. Ці послуги підтримують будь-яку іншу сферу діяльності підприємства – від спільних функцій підтримки до його високоспеціалізованих бізнес-процесів.

Для розробки моделей з використанням технологій заснованих на інтелектуальному підході необхідно:

- вивчити можливості і обмеження існуючих технологій прогнозування технологічних параметрів з урахуванням динамічного зміни показників сенсорів і цілей;

- розробити системи збору та підготовки даних, що забезпечують уніфікацію і універсальність розроблюваних алгоритмів;
- вивчити і доопрацювати методи моделювання технологічних процесів і створення їх цифрових двійників, здатних навчатися в процесі роботи;
- сформуванню концепцію автоматизації бурових процесів з урахуванням сучасних досягнень в області розробки приводів, контролерів і сенсорів, перспективних для застосування в нафтогазовій промисловості.

В інтелектуальних АСК реалізуються методи і алгоритми збору і обробки даних, за рахунок яких забезпечується виконання наступних завдань:

- виявлення об'єктивних даних і закономірностей на основі різномірної інформації;
- прийняття рішень в умовах невизначеності;
- відтворення неформалізованих експертних практик управління;
- автоматичне поповнення і збереження бази знань по експлуатації системи;
- навчання операторів найбільш ефективним практикам управління.

Отже, для того щоб мати можливість, аналізувати і моделювати поточний стан свердловини важливо зберігати і накопичувати всю отриману інформацію про стан свердловин і параметрах буріння з перших метрів проходки і до закінчення буріння.

Запропоновані в сучасних дослідженнях моделі з наукової проблеми підвищення ефективності прийняття рішень в процесі буріння не враховують вплив багатьох режимних параметрів і неконтрольованих факторів на технологічний процес. Нераціональний і невчасний вибір режимних параметрів буріння, що не адаптуються до оптимальних значень, є причиною зниженої продуктивності та аварій. Незважаючи на значимість численних досліджень, присвячених розвитку технології буріння, в них недостатньо уваги приділено питанням оптимального та своєчасного регулювання режимних параметрів буріння в розрізі проблеми підвищення ефективності, що вимагає проведення спеціальних досліджень з питання керування бурінням.

Миттєві значення параметрів буріння на виході в певний фіксований момент часу залежить встановлених значень на вході, які в свою чергу є взаємозалежні між собою. На практиці регулювання процесу буріння з пластів стримується браком достовірної інформації, дані про процес буріння є неповними та неточними. Наведені дослідження свідчать, що сучасним ефективним і перспективним способом моделювання взаємозалежностей для досягнення високої ефективності прийнятих рішень є застосування автоматизації та штучного інтелекту.

### **1.3 Технічні аспекти дослідження ефективності інтелектуальної підтримки рішень технологічного процесу буріння**

Розвиток інформаційних технологій, підвищення ступеня автоматизації і перерозподіл функцій між людиною і апаратурою загострило проблему взаємодії людини-оператора з системою управління. Системи, що симулюють складні виробничі процеси і використовуються в процесах підтримки прийняття рішень, а також при навчанні фахівців вищої кваліфікації, частково можна прирівняти з промисловими системами управління. Тому слід розглядати використання систем симуляції класу «Бурові тренажери» при проектуванні систем керування технологічними процесами і автоматизації в об'єктах нафтогазової промисловості.

Аналіз можливості використання комп'ютерних тренажерів складних технологічних процесів в якості платформи експериментальних досліджень нових моделей показує високу ефективність. Наявність комп'ютерного тренажера дозволяє проводити експериментальні дослідження в необхідній кількості без ризику вплинути на хід реального технологічного процесу.

Наслідки негативних впливів, викликаних недоліками моделі можуть обчислюватись надзвичайно високими фінансовими втратами і супроводжуватись загрозою для екології, життя і здоров'я людей. Специфічні умови роботи оператора, керуючого вкрай складним, інерційним, величезним за кількістю динамічних параметрів, дорогим і вибухонебезпечним об'єктом, виключають



проведення досліджень безпосередньо на робочому місці. Неможливість з достатньою точністю і повнотою імітувати в експерименті хід технологічного процесу значною мірою стримує експериментальні дослідження в галузі буріння. Корисність використання тренажерів при моделюванні інтелектуальних систем автоматизації технологічних систем буріння обґрунтована в дослідженні [35].

Ефективність тренажерного експерименту забезпечується подібністю моделі і середовища управління реальному технологічному процесу. Репрезентативність експериментальної ситуації забезпечується вибором вхідних параметрів для експерименту чи вибором події. Як правило, в тренажері імітуються позаштатні та аварійні ситуації, або мають практичні прецеденти, що потребують оцінки зберігаючи технологічну реальність і теоретичні основи модельованого об'єкта. Звичайно, слід врахувати загальні чинники, що знижують зовнішню валідність, такі як ефект тестування, фактор відбору, і інтерференція експериментальних впливів. Однак, з точки зору відтворення власне предмета діяльності, експеримент на тренажері наближається до т.зв. експерименту повної відповідності.

В роботі [36] оцінено, що незважаючи на складність завдання експерименту, потенційний ефект у вигляді зниження втрат, викликаних недостатньою підготовкою фахівців і неправильними оцінками наслідків прийнятих управлінських рішень, обумовлює затребуваність використання симуляторів та тренажерів.

Однак рішення даної задачі ускладнене через відсутність стандартних механізмів уніфікації технічної взаємодії між різними рішеннями, що в свою чергу перешкоджає формуванню єдиного інформаційного середовища симуляції процесів буріння.

В роботі [37] симуляція розглядається як з'єднувальна ланка між знаннями, що містяться в активованих наборах даних, і здатністю до швидкого вивчення попередньо отриманих ідей та експертного досвіду стосовно наведених статистичних оцінок даних.

Згідно дослідження [13] типовий симулятор володіє властивостями, що дозволяє проводити експериментальні дослідження технологічного процесу, змінюючи ефекти операційних параметрів з метою ефективного прийняття рішень. Симулятор містить алгоритм, який дозволяє визначати механічну швидкість буріння і швидкість зношення бурового долота.

Модель є центральним змістовним вузлом симулятора, який проектується з метою отримання навичок управління модельованими технічними процесами. Проблеми побудови таких моделей, частково порушені в дослідженнях [38].

У всіх тренажерних системах багато спільного, що визначається принциповою моделлю побудови тренажерів як таких. З математичної точки зору тренажерна модель є окремим випадком імітаційної моделі об'єкта зі складною нелінійною динамікою і обмеженнями на вхідні і вихідні змінні.

Основні характеристики тренажерних моделей сформульовано в дослідженні [39], вони:

- засновані на фундаментальному моделюванні процесів (кінетики, гідравліки, масо-і теплообміну та ін.);
- являють собою системи «реального часу», тобто вони передбачуваним чином реагують на заздалегідь непередбачені збурення;
- здатні автоматизувати дії оператора на основі реального відображення предметної області діяльності.

Дослідження [40] присвячено визначенню основних методів моделювання при розробці автоматизованих систем управління і тренажерів промислового устаткування, аналізу шляхів розробки їх математичного забезпечення і різних аспектів створення ефективних програмно-комп'ютерних комплексів.

В обчислювальному плані симулятор являє собою програмний модуль, що забезпечує при кожному зверненні до нього прорахунок нового стану технічного процесу, що моделюється, з урахуванням динамічної пам'яті об'єкта і всіх впливів, вироблених учасниками тренінгу (операторами і інструктором) з моменту попереднього розрахунку. При цьому крім чималої кількості «вимірюваних»

змінних (витрат, температур, тисків, рівнів і ін.) прораховується і величезне число «внутрішніх» змінних.

Структурно в тренажерній моделі можна виділити власне фізико-хімічну модель, що описує рівноважну динаміку, гідравліку, кінетику, збереження балансів та ін. аспекти функціонування технічних процесів, і модель системи керування, що розташовується між фізичним об'єктом і оператором і включає в себе вимірювальні прилади, систему сигналізації і блокувань, базові регулятори, системи логічного управління, вдосконалені контролери та ін.

Фізико-хімічна модель щоразу унікальна. Модель системи керування практично для всіх ТП складається зі стандартних елементів і більш відкрита для користувача як в разі повної емуляції, так і при часткової або повної стимуляції.

Виходячи з цілей оптимізації тренажерні моделі можна розділити на стандартні, відбивають поведінку цілого класу технологічних процесів або окремих поширених технологічних вузлів і апаратів, і спеціалізовані, що описують функціонування конкретних технологічних установок.

Слід звернути увагу на ряд відмінностей в системах симуляції, аналіз яких дозволить виявити особливості тренажерів для операторів технологічних процесів і виробити обґрунтовані критерії оцінки їх якості. З точки зору побудови тренажерної моделі робота безперервних об'єктів технологічного типу може бути описана за допомогою відтворення (імітаційного моделювання) механізмів гідравліки, масо- і теплообміну, хімічної кінетики і ін. процесів. Більшість таких об'єктів є просторово зосереджені групи технологічних апаратів, об'єднаних матеріальними і енергетичними потоками і функціонують в режимах, близьких до рівноважних. В цих умовах природне завдання оператора - підтримувати цю рівновагу, розпізнаючи відхилення і вчасно передбачити їх небажані наслідки. Принципово важливо при цьому, що вся одержувана оператором інформація - приладова (інструментальна) являє собою вимірювання фізичних змінних процесу (витрат, температур, тисків, рівнів, складів та ін.). нескладними моделями перетворення фізичних змінних в вимірювальні сигнали.

Проблема точності моделювання засобами обчислювальної техніки викликає найбільші протиріччя при проведенні наукових досліджень проблеми визначення найбільш ефективного рішення в бурінні. Деякі формальні підходи до аналізу проблеми високоточності моделей наведені в роботі [41]. Термін «точність» передбачає наявність дотримання певних вимог.

Повнота моделі - включення в модель всієї технологічної схеми, значно здорожує систему симуляції і знижуючи швидкість моделювання, може мало що додавати до її цінності для тренінгу. Резервне або паралельно працююче обладнання моделюється спрощено, деякі елементи обладнання при моделюванні об'єднуються в «пакети», не задіяне при нормальному режимі не моделюється.

Зв'язність - забезпечення обчислення всіх показників, що моделюються згідно технологічної схеми, так щоб зміни на будь-якій її ділянці відбилися на всій схемі відповідно до реальних фізико-хімічних процесів, що відбуваються в керованому об'єкті. Ізольованість окремих частин технологічного процесу є наслідком об'єктивної складності реалізації його моделювання засобами обчислювальної техніки, але є неприпустима.

Адекватність статичної і динамічної поведінки моделі реальному технологічному процесу - світова практика показує, що досяжною є точність в  $\pm 5\%$  для критичних і  $\pm 10\%$  для некритичних параметрів в статичних режимах. Адекватність моделі в перехідних динамічних режимах більш важка для перевірки і, як правило, оцінюється експертно на якісному рівні [42]. Умовою адекватності є також стабільність моделі, під якою розуміється приналежність параметрів моделі (як зовнішніх, так і внутрішніх) заздалегідь заданому робочому діапазону, без зривів і збоїв в обчисленні. Для цього використовуються засоби моделювання технологічних процесів, засновані на перевірених методах фундаментального моделювання фізико-хімічних процесів і надійних базах фізико-хімічних властивостей речовин. Виробники комп'ютерних тренажерних систем використовують високоавтоматизовані засоби створення моделей, крім іншого підвищують ефективність розробки за рахунок перенесення основної частини робіт в область конфігурації моделей з базових елементів.

Адекватність тренажерної моделі забезпечується – шляхом отримання ексклюзивних технологічних даних (часто наявних тільки у технологічного ліцензіара процесу), таких, як параметри каталізаторів або кінетичні параметри реакцій в конверсійних процесах нафтопереробки. (В свою чергу, недоступність такої інформації може впливати і на повноту моделювання.) Виникають також ситуації, коли для адекватного відтворення технологічного процесу потрібне спеціальне програмне забезпечення [39].

Згідно запропонованої в праці [43] моделі діяльності оператора в комп'ютерному тренінгу (рис.1.4), цикл відпрацювання будь-якої ситуації включає в себе наступні стадії:

- виявлення події, тобто спостереження за ходом процесу і детектування відхилень від заданого ритму,
- діагностування причин події за допомогою механізмів розпізнання класифікації та ідентифікації;
- компенсацію небажаних наслідків події, що складається у виборі варіанту втручання в хід процесу при плануванні і виконанні процедури втручання.

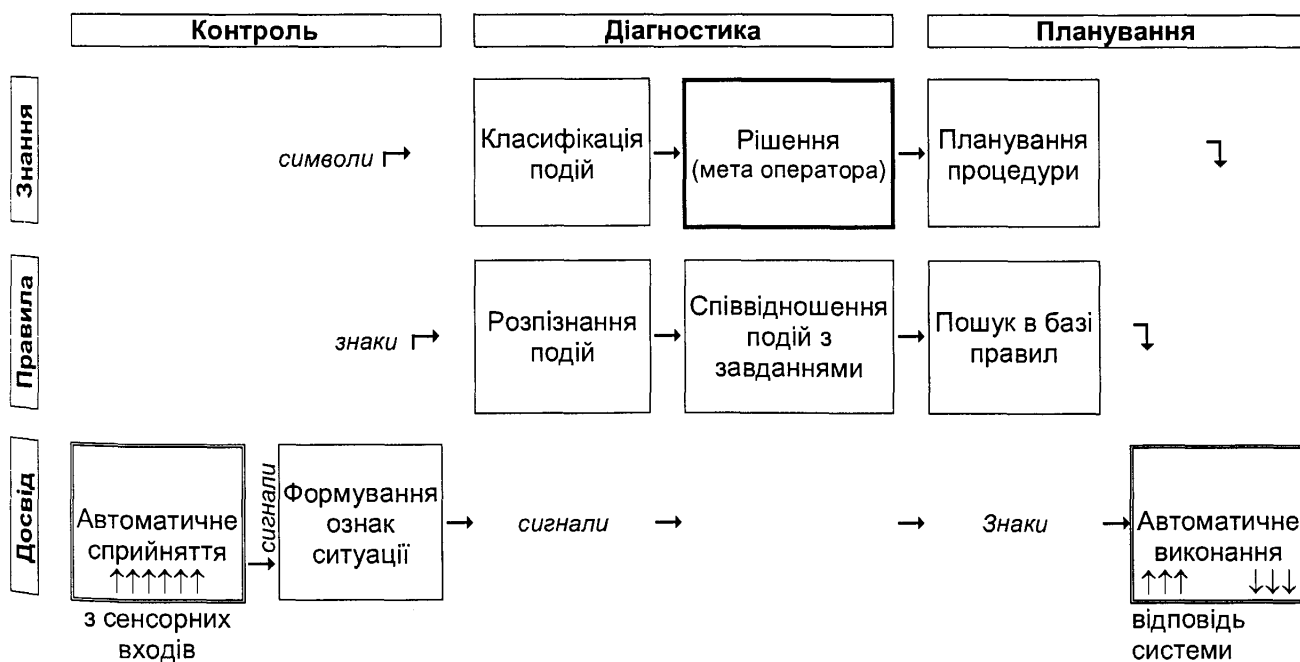


Рис. 1.4. Матриця взаємозв'язку компонентів інтелектуальної системи з елементами кваліфікацій інтелектуальної автоматизованої системи керування

Досвіду впровадження комп'ютерних тренажерів для навчання операторів безперервних технологічних процесів в різних сферах діяльності присвячена велика кількість робіт [45-49].

Аналіз теорії і практики моделювання процесу буріння, свідчить про те, що на сьогоднішній день інженерами і вченими проведений величезний обсяг досліджень, пов'язаних з роботою ґрунторуйнуючого обладнання на забої свердловини, витрачені чималі матеріальні засоби на проведення стендових і промислових експериментів, в результаті яких створено стимуляційні системи у вигляді тренажерів. Ці системи можна використовувати для перевірки ефективності нових моделей. Найбільш продуктивними по доступності вимірювання параметрів і управління ними є моделі  $V = f(G, n)$  і  $V = f(G)$ . Відмінність моделей реального буріння глибоких свердловин від моделей експериментального стендового буріння визначається інтенсифікацією процесу роботи бурильного інструменту.

Створення постійно діючих моделей є важливою ланкою в цілісній системі підвищення ефективності управління розробкою нафтогазових родовищ. Підвищити якість і достовірність моделі можна на основі інтеграції знань і накопиченого досвіду в різних областях діяльності. Такий інтегрований підхід передбачає створення безперервного ітераційного циклу геолого-гідродинамічного моделювання, в якому повинна дотримуватися певна етапність виконання різних видів робіт. Ефективність моделі буріння залежить від якості даних, які використовуються для проведення синтезу. База знань користувача про параметри процесу буріння є основою для визначення методів реалізації технологічного симулятора автоматизованого управління процесом буріння свердловин, що дає змогу визначити необхідні керувальні дії. Оптимізація буріння в реальному часі, керована даними, є складною через обмеження часу роботи. Це сприймається як недолік для моделей, керованих даними, оскільки їх функціональна форма невідома, що ускладнює їх оптимізацію.

Головна науково-практична задача, яка вирішується моделюванням процесу буріння полягає в розробці математичної моделі процесу обертального,

турбінного та ін. буріння свердловин, основними елементами якої є залежності механічної швидкості буріння від технологічних параметрів, властивостей пари «тип долота - тип ґрунту вибою» і часу чистого буріння і яка використовується для опису процесу буріння і його оптимізації.

Таким чином, сучасні стимуляційні системи мають повну математичну модель технологічного процесу буріння і забезпечують можливість перевірки адекватності запропонованих рішень оптимізації технологічного процесу буріння моделлю інтелектуальної системи автоматизації, забезпечуючи засобами як цілісного сприйняття процесу буріння, так будь-якої ступені його деталізації.

При всій важливості технічних складових тренажерів очевидно, що ці цілі недосяжні, якщо основа тренажера - моделі технологічних процесів - не будуть адекватними і не відобразатимуть актуального стану реального технічного процесу. До задач, які на сьогоднішній день не повністю вирішені при реалізації інженерних рішень побудови тренажерів відноситься формування адекватної бази даних. У більшості підходів CBR розглядається ненормальна ситуація. Це означає, що щоразу, коли виникає нова проблема, прецедент формується та зберігається у базі даних прецедентів, яка буде використана для процедури міркувань. Тому відкритими є питання критеріїв, що стосуються суб'єктивності визначення важливості епізодів та доцільності занесення прецедентів до бази.

#### **1.4. Огляд інженерних рішень систем класу «Бурові тренажери»**

Розробка нафтових родовищ вимагає постійного моніторингу і аналізу різноманітних виробничих умов з метою оптимізації процесів видобутку нафти. Перша заявка для розробки інтелектуального симулятора пластового резервуару інтерфейсу, а також для інтерпретації журналу свердловин та діагностики бурового долота за допомогою нейронних мереж поступила в 1989 році [50].

Сучасні програм-комплекси, або цифрові тренажери, дозволяють оцінити ефективність роботи глибинно-насосного обладнання, врахувати вплив факторів,

що ускладнюють видобуток, проаналізувати стан пласта і відпрацювати можливі нештатні ситуації на виробничих об'єктах нафтовидобувних підприємств [51].

Висока вартість ліквідації наслідків помилок, допущених персоналом нафто- і газодобувних підприємств, робить навчання значущим і пред'являє до нього підвищені вимоги. В дослідженні [52] проаналізовано основні вимоги та сформульовано цілі, що ставляться при розв'язанні рішень побудови симуляторів нафтогазовидобувної сфери. Крім великої кількості вимог, що забезпечують досягнення навчальних цілей можна сформулювати також і додаткові, важливі для даного дослідження, цілі, що досягаються за допомогою тренажерів, такі, як:

- ознайомлення операторів з роботою системи управління;
- тестування бази даних комп'ютеризованих систем управління;
- розробка і перевірка нових стратегій управління (настройка нових контурів, верифікація алгоритмів програмно-логічного управління, аналіз стійкості та ефективності багатозв'язного і вдосконаленого управління);
- технологічний інжиніринг (розробка та обкатка нових технологічних режимів, розширення «вузьких місць») та ін.

За складністю виконання моделі тренажерів варіюються від звичайних портативних і повномасштабних тренажерів-симуляторів буріння і управління свердловиною до новітніх моделей з кібер-кріслом, доповнюються опціями за індивідуальними вимогами.

Як приклад простих рішень в роботі [53] зроблено аналіз мобільного додатку «Wellcontrol», що працює в середовищі операційної системи IOS, містить мнемосхему гідравлічної лінії бурової установки. Анімаційний супровід, що створює ефект присутності, візуалізує зміну технологічного процесу в залежності від обраних команд оператора. Інтерфейс тренажера компанії «Learn to drill» розроблений таким чином, що оператор бачить статус виконання операцій, параметри яких він може регулювати. Процес управління технологічними процесами супроводжується анімацією, елементи управління аналогічні контролерам, що застосовуються на виробництві.



В дослідженні [54] зроблено аналіз моделі мультитренажера науково-технічної платформи «Транзас», що спеціалізується на відпрацюванні дій, безпосередньо пов'язаних з видобутком і підготовкою нафти з метою транспортування, зберіганням нафти. Крім того, передбачена можливість інтеграції з іншими технологічними рішеннями «Транзас» нафтогазової спрямованості для створення єдиного інтерактивного навчального середовища.

Характеристику портативного тренажера для навчання і підготовки персоналу по експлуатації свердловин, обладнаних електроопалювальними установками електровідцентрованих насосів (УЕВН) дано в роботі [55]. Тренажер сприяє формуванню психомоторних реакцій на аварійні ситуації, допомагає набути досвіду і навички експлуатації наземного та глибинного насосного промислового обладнання, що використовується при видобутку нафти з допомогою УЕВН. Програмне забезпечення тренажера дозволяє проводити розрахунок і візуалізацію процесів в режимі реального часу, що протікають в продуктивному пласті, свердловині, УЕВН і механізованому підйомнику, змінювати умови їх роботи в діалоговому режимі. При цьому імітуються реальні ситуації роботи насосної установки, необхідні для відпрацювання відповідної реакції оператора на події, що відбуваються.

В даний час за кордоном розвиваються кілька тренажерних платформ, розроблених основними світовими виробниками комп'ютерних тренажерних комплексів (ABB Simeon, Inc., Honeywell, Inc., CAE Link, Inc. і ряд інших).

До найбільш відомих симуляційних систем, що добре себе зарекомендували, можна віднести тренажери наступних виробників: комплекс віртуальних тренажерів «Слайд Майстер 1.18», «АМТ-231» DART (КСА DEUTAG), (ЗАТ «Автоматизація Моніторингу Технологій»), DrillSim5000.

Комплекс віртуальних тренажерів «Слайд Майстер 1.18» складається з 4 симуляторів процесів, що застосовуються в ході підготовки до буріння і безпосередньо буріння [56].

Тренажер-імітатор буріння АМТ-231 спрямований на вироблення загального уявлення про технології буріння нафтових і газових свердловин і

імітує в реальному і прискореному масштабах часу: безпосередньо процес буріння, спуско-підйомні операції, цементування, ліквідацію газонафтопроявів. Задовольняє правилам промислової безпеки на об'єктах нафтової та газової промисловості та міжнародним вимогам International Well Control Forum (IWCF).

Апаратно-програмний комплекс тренажера складається з пультів і постів управління обладнанням для будівництва свердловин, персонального комп'ютера і програмного забезпечення.

Тренажер дозволяє аналізувати приховані від прямого спостереження процеси, що відбуваються в свердловині, спостерігати процеси виникнення і розвитку ускладнень і аварійних ситуацій, надає можливість перевірити і порівняти різні варіанти вирішення технологічних задач [56,57].

Тренажер DART (Drilling and Advanced Rig Training) обладнаний екранами для відтворення 3D-графіки, звуковими колонками, віртуальними люльками бурильника, пультом керування. Тренажер DART дозволяє відпрацьовувати навички буріння і різні сценарії в режимі реального часу для конкретного випадку із застосуванням технології візуального внутрішньосвердловинного моделювання та тим самим оптимізувати процес навчання. В системі DART використовується програмне забезпечення, яке інтегрує і відтворює свердловинні умови.

Даний вид тренажера головним чином використовується для перевірки навичок членів бурової вахти, а саме бурильників і виключно для ілюстрації роботи бурового персоналу або перепідготовки бурильників в рамках підвищення кваліфікації. Для створення даного тренажера був застосований типовий підхід «від меншого до більшого» в системі «бурильник - робоче місце - умови праці». Але з огляду на ступінь оригінальності умов буріння на кожній реальній свердловині, говорити про універсальність DART не доводиться. Цей підхід краще розкриває причинно-наслідковий зв'язок між виконуваними операціями і отриманим результатом.

Наряду з вищенаведеними інженерними рішеннями у світі, в таких країнах як Угорщина, Данія, Голландія, Польща, Японія, Росія, Франція, США, Туреччина, Китай, Іран та інших тренувальні центри для сертифікації та

перепідготовки працівників, що займаються розробкою родовищ використовують тренажер DrillSim5000, виробник Англія.

Повномасштабний бурової тренажер DrillSim-5000 дозволяє моделювати практично будь-яку бурову установку, яка існує на сьогоднішній день:

- робоче місце бурильника (блок управління обладнанням, блок реєстраційних приладів);
- пульт керування противикидним обладнанням;
- пульт керування гідравлічними дроселями (керованими штуцерами);
- манифольд стояків;
- манифольд дроселів;
- робоче місце інструктора – викладача.

Відтворені на пультах тренажера засоби керування і контрольно-вимірювальна апаратура майже не відрізняються від реального обладнання.

На тренажері крім того моделюються

- параметри бурового розчину і циркуляційної системи;
- бурильного інструменту і процесу буріння;
- талевої системи;
- система керування свердловиною і запобігання ГНВП(газонефтеводопрояв;
- позаштатних ситуацій, які можуть виникнути на виробництві (всі позаштатні ситуації задаються інструктором зі свого робочого місця);
- широкий діапазон забійних умов;
- ГНВП і глушіння свердловини;
- стандартний процес буріння і СПО;
- процеси, пов'язаних з капітальним ремонтом свердловини [58].

Тренажер «Drillsim 5000» забезпечує оператору тренінг на базі віртуальної версії або фізичної приладовій панелі, завдяки можливості підключення безлічі контролерів по імітації осьового навантаження на долото, регулювання параметрів промивки. Функціональна можливість з обміну даними в реальному часі через інтерфейси дозволяє підключити декілька фізичних приладових панелей керування бурінням до єдиному інтерфейсу (монітора). Для

максимальної відповідності реальним умовам бурової використовуються цифрові звукові ефекти, повністю синхронізовані з різними операціями, що здійснюються на тренажері. На моніторі в реальному часі відображається графічна інформація про роботу спуско-підйомного обладнання і роторної системи в процесі буріння, а також іншого обладнання та дії оператора тренажера.

Індивідуальна станція оператора з сенсорним екраном поставляється в комплекті обладнання тренажера для спостереження за параметрами, не пов'язаними безпосередньо з обладнанням бурової установки, наприклад, для спостереження за зміною питомої ваги бурового розчину [59].

За допомогою даної системи можна змодельовати такі випадки, як

- буріння з верхнім приводом і наземним ПВО (противовикидне обладнання);
- провідна бурильна труба і наземне ПВО;
- цементування;
- боротьба з прихопленням;
- керування свердловиною при ГНВП.

На додаток до оперативних завдань, можна імітувати численні несправності.

Таблиця 1.3

#### Порівняльна техніко-функціональна характеристика тренажерів

Показники	Слайд Майстер 1.18	АМТ-231	DART	DrillSim 5000
Тренажер має реалістичні динамічні властивості	-	+	+	+
Симуляція аварій і ускладнень	-	+	+	+
Автоматичний режим	+	+	+	+
Інтерфейс відповідає прийнятим стандартам	+	+	+	+
Розробник може емулювати типовий операторський інтерфейс	-	-	+	+
Оцінка і складання звітності	+	+	+	+
Декілька станцій тренування	-	+	-	+

Отже, сучасні тренажерні системи світових виробників тренажерів класу «Бурові тренажери» представлено широкою номенклатурою. В результаті огляду систем класу «Бурові тренажери» бачимо, що тенденція використання тренажерних комплексів в наш час має під собою вагомні підстави. Однак без

недоліків не обійшлося. Технічні процеси моделюються не враховуючи динаміки або обчислюються за готовими формулами з незмінними параметрами. Використання систем на основі знань дасть можливість використання прецедентів та минулого досвіду для побудови нових ефективних рішень. І тому, актуальною на сьогодні стає задача розробки системи, позбавленої перерахованих вище недоліків.

### **1.5. Вибір та обґрунтування напрямку дослідження**

В результаті проведеного дослідження теоретичних основ моделювання технологічних процесів і інтелектуального підходу до оптимізації їх характеристик, шляхом вивчення досвіду відчизняних та зарубіжних науковців та існуючих практик вдалося встановити, що сучасний рівень оснащення бурових установок та свердловинних бурових інструментів численними давачами тиску, вібрації, крутного моменту, навантаження та швидкості обертання дає можливість чіткого документування причини відмови. Таким чином в першому розділі встановлено, що використання аналітики даних для виявлення ознак раннього попередження або прогнозування того, коли і як вони можуть виникнути, безумовно, є резервами підвищення ефективності в галузі буріння. Даний аспект використання аналітики даних визначено шляхом удосконалення технологічного процесу буріння для зменшення витрат або підвищення ефективності і полягає в тому, що використовується для раннього виявлення аварійного стану та уникнення поломок, або для зміни параметрів або дій буріння до того, як відбудеться майбутній збій.

На основі критичного аналізу підходів до прийняття рішень щодо технологічного процесу буріння з'ясовано, що використовуються методи основані в першу чергу на інженерному досвіді та літології родовища, а дослідження в цій галузі зосереджені на автоматизації моніторингу процесу. Діагностику відхилень в ході процесу та рішення щодо вжиття коригувальних дій, виконують фахівці, які здійснюють роботу і існує поріг, при якому типовий оператор більше не може

сприяти ефективному рішенню, і потрібно використовувати інші технічні ресурси.

Отримані результати дослідження дозволяють зробити висновки, що існує ряд питань технологічного процесу буріння, що можуть отримати вирішення в результаті дослідження поставлених проблем, що визначають напрямки подальшого дослідження, а саме питання необхідності зниження до мінімуму частки ручної праці, як менш надійної, за рахунок використання автоматизованих систем керування, що дають ефект мінімізації залежності від кваліфікованої робочої сили та питання безпеки шляхом інтелектуалізації нафтогазових родовищ на основі штучного інтелекту.

Очікуваними результатами дослідження є встановлення етапів формалізації процесу буріння, визначення параметрів процесу буріння, з врахуванням критеріїв ефективності та обмежень, що використовуються в практиці, забезпечити цілісне сприйняття технологічного процесу, а також будь-яку ступінь його деталізації та визначення ефективності імітаційного та комп'ютерного моделювання в бурінні. Висвітлення практичні аспекти моделювання з використанням сучасних інженерних рішень симуляторів буріння на прикладі тренажера Drillsim5000.

Для вирішення сформульованої задачі необхідно:

- визначити необхідні і достатні умови оптимізації основних показників адекватної математичної моделі процесу буріння для проектування інтелектуальної системи управління;
- розробити бази даних з різноманітними параметрами процесу (значення параметрів повинні охоплювати всю область допустимих значень для обраного процесу);
- сформувати об'єктивну оцінку ефективності управління процесом буріння з застосуванням багатofакторного (кейсбазованого) підходу);
- розробити концептуальну модель процесу роботи оперативного і диспетчерського персоналу, що задіяні в технічних процесах буріння НГС, що враховує необхідність досягнення великого числа цілей, яка призводить до виникнення багатокритеріальної ситуації при прийнятті рішень;

- імплементувати моделі опрацювання сукупності поточних даних про хід процесу буріння засобами обчислювальної техніки на основі теорії автоматизації, методів обробки та аналізу даних що враховує критичність показника об'єму даних та забезпечує необхідний рівень опрацювання даних;
- експериментально підтвердити ефективності запропонованих методів та рішень.

## РОЗДІЛ 2

### ОЦІНКА СТАНУ ЗАСТОСУВАННЯ ІІІ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БУРІННЯ

#### 2.1. Застосування ІІІ при опрацюванні інформаційного циклу технологічних процесів

Моделі, орієнтовані на дані, використовують інформацію, притаманну тимчасовим рядам минулих свердловин, великий і недостатньо використаний ресурс у більшості бурових компаній. Ознаки ІІІ і навіть деякі методи, що використовуються для вирішення проблем евристичного змісту, що мають експертний компонент або орієнтованість на знання, трапляються в перевірених часом операціях, методах дослідження та рішеннях. Ознаки пов'язані з потенційною присутністю евристичного змісту в певній проблемі, яку потрібно вирішити промисловим способом.

Система, що заснована на ІІІ імітує певні якості, які зазвичай пов'язані з тим, як функціонують люди, має здатність вчитися, пояснювати, викладати деякі міркування, засновані на широкому розумінні, і дуже точно зосереджувати досвід, навички та знання на партикулярному аспекті.

Найбільш перспективними напрямки для впровадження знання-орієнтованих технологій є ті, в яких моделювання не дозволяє отримати достовірні і своєчасні результати.

Виділимо пріоритетні завдання застосування ІІІ при моделюванні технологічного процесу буріння:

- пошук об'єктів-аналогів;
- обробка масивів даних сейсмозв'язки;
- геолого-гідродинамічне моделювання;
- відновлення історичних експлуатаційних даних;
- аналіз і узагальнення даних досліджень в масштабах родовища;
- обробка даних досліджень в режимі реального часу;



- обробка даних свердловинних операцій і методів збільшення нафтовіддачі;
- виявлення і прогнозування ускладнень в режимі реального часу;
- автоматизація процесів збору, обробки та підготовки великих масивів даних при переході до цифрового родовища.

Великий обсяг неструктурованих даних викликає проблеми при вивченні і аналізі цієї інформації з використанням традиційних інструментів, в зв'язку з тим, що в кожній моделі системи управління застосовуються різні формати записів. При цьому рішення задачі ускладнюється залежністю від безлічі різних факторів: свердловинних умов, умов експлуатації, схеми електропостачання та ін. За допомогою аналітичної системи всі дані були оброблені, створені візуалізовані моделі ланцюжків подій, а також розроблено карти імовірнісного розподілу причинно-наслідкових зв'язків. Застосування інструментів Big Data дозволило не тільки сформулювати і перевірити набір різних гіпотез про причини збоїв роботи обладнання, а й отримати інформацію про раніше невідомі взаємозв'язки.

Модель, орієнтована на дані, орієнтована на штучний інтелект. З іншого боку, фізичні моделі є більш надійними, коли стикаються з ситуаціями, яких не було в попередніх часових рядах. Тому важко створити модель, орієнтовану на дані, яка завжди перевершує фізичну модель, так само як важко створити фізичну модель, яка фіксує кожну деталь свердловини та буріння. Такі ансамблі та системи можуть поєднувати найкращі з обох підходів. Це важливо для практичного впровадження штучного інтелекту. Поєднуючи орієнтовані на дані моделі з хорошими фізичними моделями, результати можна негайно покращити з урахуванням сучасного рівня техніки.

Традиційний підхід при оснащенні свердловин заснований на значному обсязі проектних робіт і виробничих ресурсах. Він практично не дозволяє застосовувати методи проактивної і предиктивної аналітики та машинні автоматизовані методи проведення робіт.

Пропоновані методи управління базуються на застосуванні методів штучного інтелекту, впровадженні алгоритмів на основі елементів нечіткої логіки

і машинного навчання в технічно складних галузях, розвитку еволюційних обчислень і застосуванні генетичних алгоритмів.

Усі форми комп'ютеризації складаються з декількох типів інформації та функціональних можливостей. Це управління, дані, представлення та логіка програми ядра програми. У традиційних обчислювальних підходах ці чотири речі трактуються дуже по-різному з точки зору архітектури та дизайну і як засіб реалізації. Метою розроблюваної системи, заснованої на знаннях, є не диференціювати жоден із цих компонентів, а забезпечити їх декларативне відображення в декларативному компоненті бази знань.

У середовищах управління процесами є п'ять інструментів, які мають особливе значення. Ці п'ять областей абсолютно необхідні для вирішення реальних проблем промислової міцності за допомогою традиційних РС:

- інтегрований ШІ,
- взаємодіючі експертні системи,
- розподілений ШІ,
- критичний для часу ШІ
- технологія оболонки рішення, що залежить від галузі застосування.

Інтегрований ШІ - це набір інструментів, концепцій, прийомів та методологій, що поєднує традиційні та евристичні обчислення. Мета полягає у використанні правильного інструменту для правильної частини проблеми, щоб інтелектуально поєднати комунікації, бази даних, виведення даних, обробку даних, графіку та інтерфейси. Враховуючи цілі контролю та управління процесами та комп'ютерно-інтегрованого виробництва, інтегрований ШІ є абсолютно важливим. Побудувати інтелектуальний додаток у цій галузі практично неможливо без використання та тісної інтеграції евристичного моделювання та контенту з традиційними обчисленнями.

Співпраця експертних систем - це технологія розбиття проблеми на кілька міркувань. Історичний підхід є великою експертною системою з певною кількістю правил, об'єктів та інших структур ШІ. Використання експертних систем є засобом декомпозиції проблеми та використання методів для вирішення

потенційних конфліктів при прийнятті рішень, які можуть виникнути. Співпраця експертних систем - це ключова архітектурна платформа, з якої можна вирішувати масштабні проблеми за допомогою традиційного комп'ютера. Це цілком відповідає реальним операційним вимогам, що стосуються філософії та методології СІМ.

Розподілений ШІ дозволяє послабити обмеження для одного центрального процесора та розумно та ефективно використовує довільну колекцію обчислювальних елементів, з'єднаних між собою через довільну колекцію шляхів зв'язку. Розподілений ШІ як філософія та ціль реалізації - це дуже синергетична концепція із взаємодіючими експертними системами. З великими експертними системами існують стратегії розподілу, а також обмеження на вивідний компонент, що знаходиться на одній машині. Завдання полягає у тісній взаємодії з розподіленими системами управління, обчислювальними системами загального заводу та спеціальними приладами в інтелектуальній та архітектурно обґрунтованій конфігурації СІМ.

Часовий ШІ це здатність декларативно та функціонально моделювати основні постійні часу та проблеми та відображати це у процесі фундаментальних міркувань експертної системи. Методології, пов'язані з критично важливим для часу ШІ, узгоджують ці проблеми у спосіб, який можна застосувати загалом, зокрема, з традиційною комп'ютерною платформою. При створенні інтелектуальної системи контролю та оптимізації характеристик буріння, яка здатна розумно налаштувати параметричну структуру правил керування технологічним процесом, реагування є критичним. Якщо процес стає нестабільним, для інтелектуального додатка важливо мати можливість швидко його розпізнати і стабілізувати процес в межах однієї постійної часу базової динаміки. Це дозволило б інтелектуальному додатку підтримувати контроль основних перехідних характеристик.

Завдання оболонки рішення, яке залежить від галузі застосування, полягає в розробці та реалізації гнучкого, параметричного та керованого знаннями додатка, який можна легко встановити на подібних об'єктах. Кінцевий користувач вступає

в діалог із оболонкою, легко імплантуючи в базу знань дані, конфігурацію, цілі та правила, що стосуються технічного процесу. Цей етап надає експертній системі параметри знань, необхідні для вирішення проблем на цій конкретній ділянці.

Проблеми у створенні інтелектуальних програм для управління процесами та управління проблемами величезні і вимагають тонкого поєднання багатьох технологій та методологій. Технологія, яка має величезні перспективи, поєднує штучний інтелект, експертні системи та методології, засновані на знаннях. Щоб експертні системи та технології, засновані на знаннях, мали значний вплив, вони повинні мати підтримку та відповідати СІМ. Реалізація інтелектуального управління передбачає також наявність сучасної наукової бази, інтеграцію технологій, процесів і відповідної процесам кваліфікації. Застосування ШІ як основи інтелектуальної обробки інформації вимагає узагальнення досвіду існуючих практик і здійснюється з використанням елементів моделі інтелектуального управління за рахунок цифровізації, інтелектуалізації, елементів кібервиробництва, застосування промислового інтернету і віртуальної реальності.

Основою оптимізації процесів є інтеграція окремих апробованих рішень в інтелектуальний технологічний комплекс, який забезпечує підвищення якості управління на базі реальних параметрів родовища і використання геологотехнологічної інформації. ШІ можна розглядати як сукупність інструментів, концепцій, методів, що дозволяє вирішувати певні проблеми, які не можна легко змоделювати в аналітичному рішенні у закритій формі. Багато методів використовуються для того, щоб побудувати інтелектуальні системи міркувань здійсненими в реалістичні часові рамки з належними практиками програмної інженерії.

В нафтогазовидобувній галузі існує велика зацікавленість та активність у використанні штучного інтелекту та експертних систем для вирішення складних сучасних проблем, які є специфічними для галузі. Для вирішення цих проблем потрібні не лише глибокі знання з інформатики та штучного інтелекту, але й широкі знання в області, оскільки ці проблеми існують протягом ряду років. Організації або зазнали невдачі в спробах автоматизувати рішення, або дійшли

незадовільних рішень, які охоплюють лише незначну частину потенційної рентабельності інвестицій, якщо знайти адекватне рішення проблеми. Інструменти та методології, поєднані з інтегрованим штучним інтелектом, співпрацюючи з експертною системою, розподіленими оболонками рішень та критичним для часу ШІ є центральними для прийняття інтелектуального рішення. Загальна парадигма міркувань є поширеною моделлю для багатьох вертикальних ринкових застосувань.

Застосування ШІ дозволяє не тільки оптимізувати вартість будівництва при бурінні і облаштуванні окремих свердловин, а й забезпечити підвищення рівня видобутку нафти і газу, знизити втрати, здійснивши запобігання аварій [61]. Згідно дослідження [62] слід розглядати чотири режими роботи свердловини - фактичний, проектний, режимний і потенційний. Дебіт цифрової свердловини прагне до режимного, дебіт інтелектуальної свердловини - до потенційного рис.2.1.

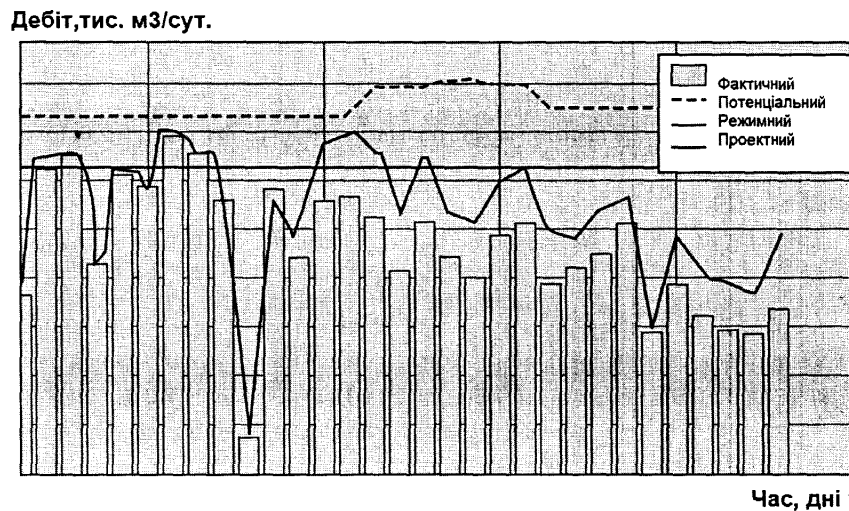


Рис.2.1. Порівняння режимів роботи свердловин

Запропонована модель міркувань представляє інтелектуальний цикл міркувань (рис.2.2). Основою підвищення якості управління та алгоритмічного формування керуючих впливів в нафтогазових системах є повторюваний корекційний цикл «Великі геоданих - Моделювання - Інтегроване управління - Зростання вартості основних активів».

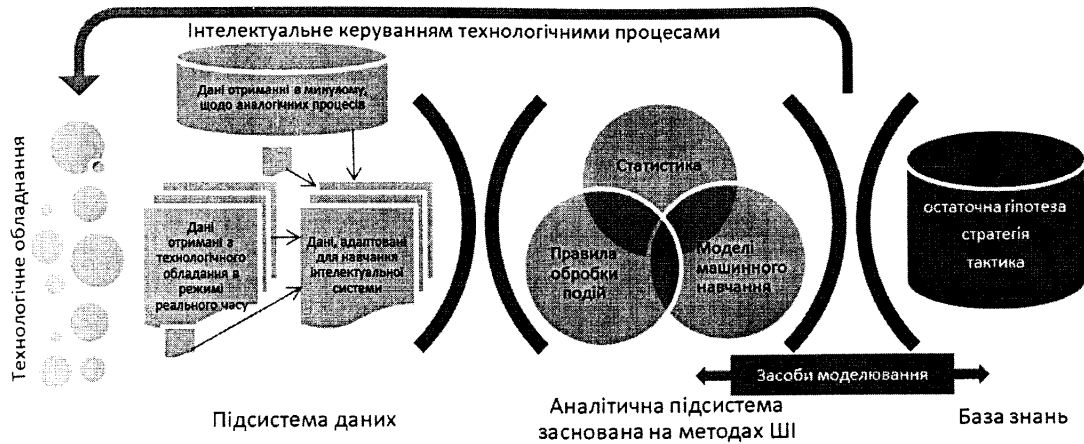


Рис 2.2. Модель ідентифікації закономірностей (цикл розумних міркувань)

При побудові інтелектуального рішення розглядаємо чотири фази.

Перший етап - це етап набуття знань. На цьому етапі оболонка рішення, засобами форм, запитань та інші механізмів формують інформаційну основу. Це забезпечується створенням конфігурації, структури даних, цілей, правил та ключових значень параметрів.

Після завершення фази набуття знань система може вступити в цикл розумних міркувань. Цей цикл призначений для керування даними та асинхронності.

На другій фазі циклу додаток, заснований на знаннях, намагається визначити необхідність щось робити. База знань керується даними та здатна зосередити свою увагу, враховуючи стан вирішення проблеми та те, що відбувається в цілому в проблемному середовищі.

Після завершення цього етапу база знань або визначила або не визначила необхідність щось робити, а також ознаки та характеристики проблеми. Якщо вона визначила необхідність щось робити, база знань переходить на третю фазу функціонування. На цьому етапі база знань розробляє стратегію та тактику для вирішення проблеми, яка була з'ясована на етапі ідентифікації. У циклі розумних міркувань основу можна розглядати в інтелектуальному сенсі як базу знань, що складається з ряду фундаментальних методів для певної галузі. На третьому етапі фаза знань приймає проблему, яка була виявлена на другому етапі, та аналізує її на основі своєї бази знань методологій для вирішення конкретної області. База

знань здатна розробляти стратегії та тактики, що представляють собою гібриди та комбінації методів, що моделюються. Інтелектуальне рішення проблеми – це гібрид фундаментальних методів. На завершення третього етапу циклу розумних міркувань база знань формує стратегію та тактику вирішення проблеми та її атрибутів, які були визначені на другому етапі.

На четвертому етапі застосування бази знань вживає відповідних дій на основі стратегії та тактики, сформульованих на третьому етапі.

Розумний цикл міркувань не є суто циклічним, послідовним циклом. Ідентифікація необхідності щось робити може мати місце, коли база знань вживає заходів щодо попередньої проблеми. Цикл розумних міркувань призначений для передачі топології на відміну від остаточної послідовності міркувань.

При цьому значно трансформується і сам технологічний цикл управління процесом видобутку, який формує інформаційний цикл «Вимірювання - Корекція - Контроль - Прогноз - Вплив» з урахуванням реалізації прийнятих раніше критеріїв. Комплексне застосування цифрових технологій і алгоритмів як основи оптимізації витрат забезпечує можливість безаварійного віддаленого управління об'єктами будівництва і експлуатації, зниження впливу людського фактору і компетенцій, збільшення ефективності інвестиційних вкладень, забезпечує продовження термінів рентабельної експлуатації в складних умовах і вимогах

На рис. 2.3 наведена прийнята в проекті розробки порівняльна модель ідентифікації закономірностей і класифікації ускладнень для виявлення нештатних ситуацій за допомогою навчальних алгоритмів, аналізу розподілу і сегментації параметрів процесу буріння на підставі одержуваних геологотехнологічних даних.

В архітектурному плані розглядаємо реалізацію циклу розумних міркувань як складену з ряду концентричних шаруватих систем. Внутрішня система являє собою високопродуктивне, повністю налаштоване ядро часу виконання, яке завжди здатне вжити критично важливих для часу дій на основі поточної найкращої оцінки речей, що потрібно зробити, враховуючи поточне середовище.

Зовнішній шар складається з інтелектуального компонента міркувань, який намагається з'ясувати, як змінити ядро виконання.

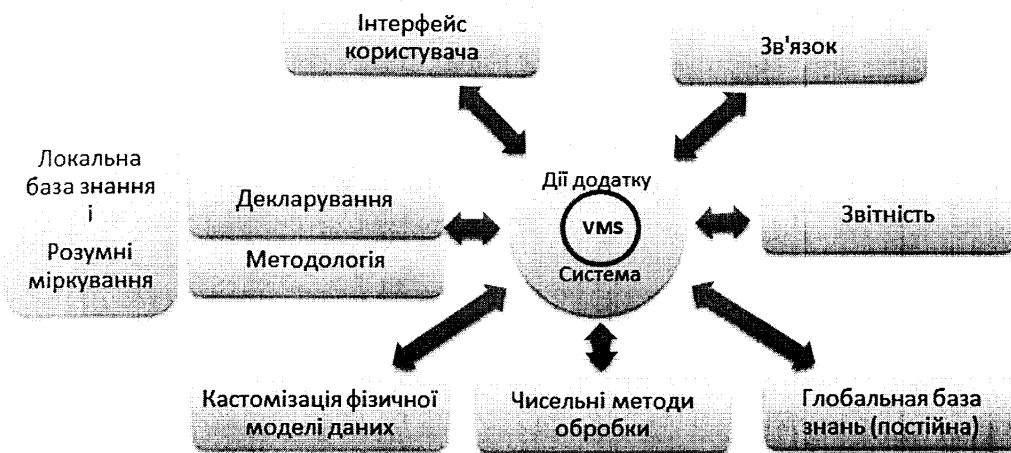


Рис. 2.3. Модулі, що співпрацюють в інтелектуальному додатку

Запропонований підхід експертного налаштування значною мірою спирається на концепцію інтегрованого штучного інтелекту. Експертний компонент ШІ використовується для виявлення необхідності налаштування та вирішення того, який метод настройки застосовувати з урахуванням ситуації, пошуку, розпізнавання шаблонів, навчання, виправдання та пояснення тощо. Чисельні обчислення виконуються як числові процедури, доступні для бази знань (як декларативні схеми компонентів, так і правила процедурних компонентів). Використання відповідного інструменту та техніки для даної концепції є головним у підході.

## 2.2. Буріння як об'єкт керування інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень

Загалом, систему інтелектуального прийняття рішень можна охарактеризувати як домен-залежну оболонку рішення, яка є гнучким та реконфігурованим додатком для вирішення можливостей інтелектуального контролю в режимі управління процесами у промисловості.



Інтеграція методів міркувань на основі знань, спрямована на використання причинно-наслідкових зв'язків є сучасною тенденцією, що підкреслює зростаючу важливість питань набуття знань для підвищення ефективності, враховуючи, що процес буріння є нелінійним, нестационарним, параметрично невизначеним стохастично-хаотичним динамічним об'єктом керування, що функціонує за умов апріорної та поточної невизначеності щодо структури та параметрів, перебуває під впливом зовнішніх збурень і розвивається у часі [3].

Технічними елементами процесу буріння є бурові установки, вишки, лебідки, кран-блоку, талевого блоку, вертлюга, ротора, типорозміри труб, кількість насосів, типорозмір доліт, компоновка низу бурильної колони, оснастка талевої системи. Технологічними елементами буріння є параметри режиму буріння (осьова сила на долото, швидкість його обертання, кількість та якість промивальної рідини), які можна цілеспрямовано змінювати з метою досягнення необхідних показників у кожному рейсі долота з урахуванням обмежень, встановлених геологотехнічним нарядом на свердловину [75]. Параметри буріння враховуються для отримання бажаних показників, які повинні відповідати економічним критеріям, таким як мінімальна собівартість продукції або максимальний рівень виробництва, якщо не по кожній окремій свердловині, то за обсягом проходки в цілому.

Для процесів будівництва свердловин характерні швидка зміна ситуацій і дію численних факторів, взаємопов'язаних і змінюються в часі і просторі, тому при експлуатаційному бурінні використовується широка номенклатура обладнання для контролю процесу буріння і спостереження за станом свердловини і бурильного устаткування та програми для моніторингу та аналізу.

Інформаційно об'єднана сукупність програмованих пристроїв автоматизованого та автоматичного контролю, регулювання та керування складає автоматизовану систему керування.

Для функціонування автоматичних систем необхідні раціональні або оптимальні значення регульованих параметрів. Інтелектуальний сигнал - це «засноване на стані» попередження, яке отримує доступ до декількох точок даних

за допомогою багатофакторного підходу до аналізу. На відміну від принципів формування автоматичної системи, інтелектуальне управління процесом буріння передбачає, що система заснована на знаннях, пропонуючи робочі параметри процесів буріння в реальному часі, співвідносить їх з величезними обсягами історичних даних, що зберігаються у базі даних.

Вибір параметрів контролю процесів буріння є ключовим в розпізнанні шаблонів. Визначення повного набору даних засновано на вивченні структурної схеми, функціональних зв'язках та особливостей процесу. Задача формування комплексу контрольованих параметрів відноситься до числа складних і в багатьох випадках якісно розв'язується за допомогою експертних систем, що працюють на основі накопиченого досвіду. Операції по знаходженню оптимальних значень режимних параметрів виконуються постійно з деяким дискретним інтервалом. При вивченні статистичних закономірностей, складних фізичних явищ, їх взаємозв'язку в ході технологічного процесу, настає момент, появи нової ідеї, коли сукупність параметрів надає підстави розглядати процес з нових позицій, що дає можливість знайти ефективне рішення. Інтелектуальна система в постійному режимі використовує управлінський вплив для зміни значень режимних параметрів, в результаті якого поточне значення собівартості постійно наближається до оптимального.

В даний час комп'ютерні системи, що підтримують виробництво, складаються з автоматизованих ділянок, кожна з яких орієнтована на певне прикладне рішення. Засоби оптимізації на основі комп'ютерних технологій можуть давати ефективні рішення.

Метою побудови інтелектуальної моделі автоматизації в сфері нафтовидобутку є досягнення таких допустимих величин і такого стану параметрів, що забезпечують безпеку геолого-технологічних процесів та цілісність інформації.

Розроблена структурна схема інтелектуальної АСК процесу буріння представлена на рис. 2.4.

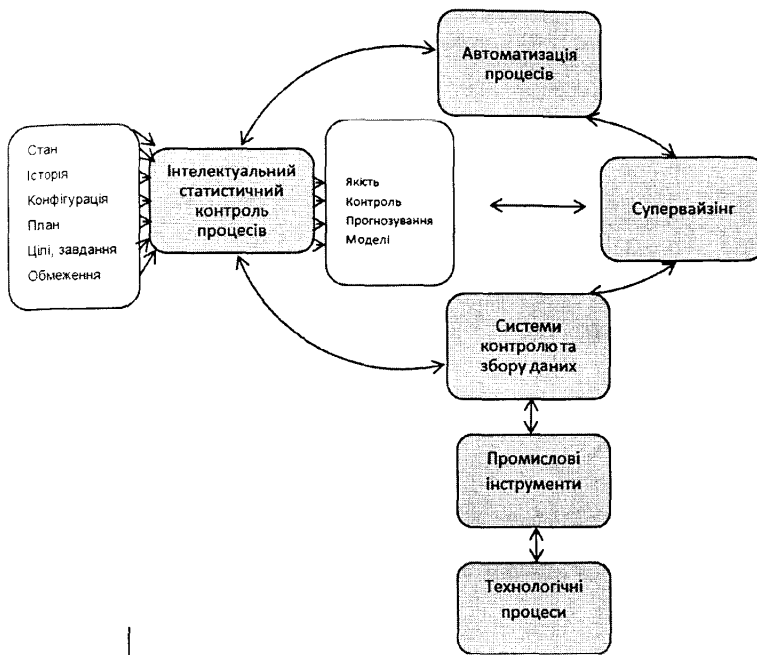


Рис. 2.4. Структурна схема інтелектуальної автоматизована система керування процесом буріння

Бурова техніка - це область застосування, в якій систематичне зберігання та ситуаційне повторне використання минулого конкретного досвіду забезпечують значну підтримку бурового персоналу на різних рівнях [32]. Виробничу систему слід розглядати як ієрархічно структуровану систему, що дає гнучкий та рівномірний спосіб моделювання всіх рівнів ієрархії виробничої системи.

Для розробки комплексної стратегії та рішень доцільно використовувати архітектуру CIM (computer-integrated manufacturing). Архітектура CIM - це структура інформаційних систем, яка дозволяє промисловим підприємствам інтегрувати інформаційні та бізнес-процеси, вона досягає цього шляхом встановлення напрямку інтеграції; та визначивши інтерфейси між користувачами та постачальниками цієї інтеграційної функції.

Наступна спрощена схема представляє типову архітектуру автоматизації процесу буріння з посиланням на піраміду CIM. Кожен рівень, представлений задіяними пристроями чи програмами показаний у центрі зв'язаний ліворуч із відповідними рівнями даних мережами зв'язку, а праворуч - із задіяними системами керування:

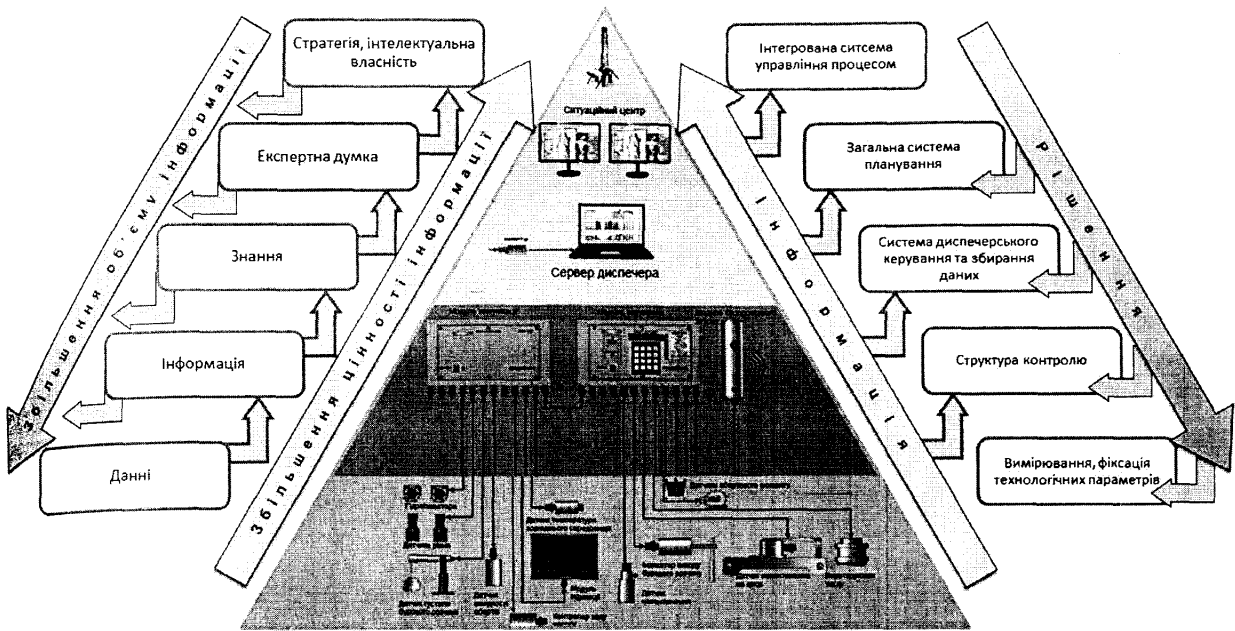


Рис. 2.5. Архітектура автоматизації технологічного процесу буріння з посиланням на СІМ піраміду

- На найнижчому рівні є прилади, які контролюють та обробляють змінні процесу - фізичні пристрої, що існують у промисловості, такі як виконавчі механізми та датчики - на даному рівні актуальним є вибір параметра оптимізації, або технологічного критерію оптимізації.

- Другий рівень або «рівень управління» - ці інструменти з'єднуються з контрольною структурою, яка здатна реалізувати правила контролю. Типові структури управління промисловими потужностями, можуть бути реалізовані на пристроях з програмованою логікою контролерів та розподілених системах управління. Всі ці контролери реалізують деяку комбінацію технології подачі прямого і зворотного зв'язку – на даному рівні оптимізації підлягає передача геолого-технологічної інформації, організація каналів передачі в центри буріння.

- «Рівень нагляду» (третій рівень) відповідає системам контролю та збору даних (SCADA). Включає логічні пристрої, персональні комп'ютери. Комп'ютер взаємопов'язаний із апаратним забезпеченням управління за допомогою мережевого зв'язку. Управляючий хост підтримує бази даних та програми, які розташовані поверх основної функції управління – основним питанням оптимізації є оцінка інформаційних потоків.

• Системи виконання виробництва або МОН знаходяться на вищому рівні або «рівні планування» – завданням оптимізації на даному рівні є визначення ефективної процедури вибору найбільш відповідних умов виробництва.

• Вершина піраміди («рівень управління») складається з інтегрованої системи управління компанії (ERP), де оптимізація полягає в побудові механізмів прийняття рішень.

Складність проблеми оптимізації процесу буріння полягає в необхідності досягнення великого числа цілей, яка призводить до виникнення багатокритеріальної ситуації при прийнятті рішень. Є ряд напрямків для впровадження штучного інтелекту та експертних систем для оптимізації технологічного процесу буріння. Прикладами важливих напрямків, характеристик, критеріїв оптимізації процесу буріння є такі параметри:

- механічна швидкість буріння;
- рейсова швидкість буріння;
- оптимальний час знаходження бурового інструменту на забої;
- витрата алмазів або проходка на буровий інструмент (його ресурс); - відносний показник ефективності;
- вибір і підтримка раціонального режиму буріння з контролем відпрацювання доліт;
- оптимальне поглиблення забою за один оборот бурового інструменту;
- проводка стовбура свердловини по заданій траєкторії;
- оптимізація спуско-підйомних операцій (обмеження швидкості спуску, оптимізація роботи вантажопідйомних механізмів);
- розподіл тиску по стовбуру свердловини при бурінні і проміжних операціях;
- очищення стовбура свердловини від вибуреної породи;
- швидкість та ефективність запобігання ускладнень і аварій, тобто своєчасне виявлення прихоплення інструменту, газонафтоводопровів.

Більшість опублікованих праць та літератури виділяють наступні некеровані аспекти параметризації, що враховуються при прийнятті рішень у процесі буріння

свердловин на нафту і газ: геологічна будова родовища; його розташування в просторі і пов'язані з ним рельєфні умови; кількість та якість корисних копалин; прогнозовані умови експлуатації родовища (фактори, що їх зумовлюють).

Структурну модель технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин як об'єкта керування узагальнено в дослідженні [3] наведено на рис. 2.6.

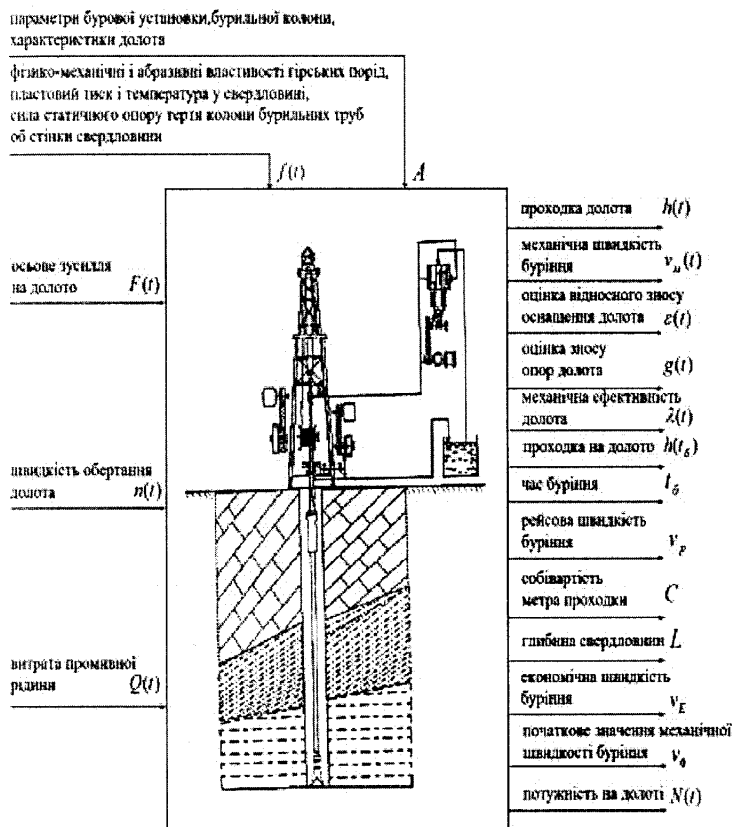


Рис. 2.6. Структурна модель технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин як об'єкта керування

Диспетчерське управління та збір даних (SCADA) є основним і в даний час залишається найбільш перспективним методом автоматизованого керування складними динамічними системами (процесами) в життєво важливих і критичних з точки зору безпеки та надійності областях.

Для ефективного управління виробничим підприємством важливо зробити правильні висновки про критичні параметри технологічних процесів, стан обладнання, ефективність та надійність його роботи. Для цього необхідно

контролювати велику кількість даних, що надходять від датчиків, контролерів, систем SCADA. Величезна кількість виробничої інформації важливо попередньо обробити, відфільтрувати та подати у зручних для аналізу оперативних звітах.

В ході дослідження здійснено порівняння можливостей кількох SCADA, що використовуються в бурінні.

Камертон - модульна комп'ютерна система для обробки даних досліджень свердловин. Використовує оригінальні інтерпретаційні методики. Система «Камертон» забезпечує такі можливості: завантаження вихідних даних та експорт результатів роботи у двійковому форматі та табличному вигляді; побудова графічного планшета та видача висновку. Комп'ютерна система дозволяє за даними досліджень свердловини отримувати інформацію про поточний стан свердловин та продуктивних пластів, необхідну для планування геологотехнологічних робіт, оцінки поточних запасів, контролю за розробкою та для гідродинамічного моделювання родовищ нафти та газу. У системі реалізовано традиційні алгоритми обробки та інтерпретації даних акустичного каротажу в комплексі з іншими методами.

ClearSCADA R3 - система, розроблена компанією Control Microsystems, яка в даний час входить до групи Schneider Electric як Telemetry & Remote SCADA Solution. ClearSCADA застосовується у нафтогазовій промисловості. В Україні систему інстальовано на багатьох об'єктах НАК «Нафтогаз». Програмне забезпечення має діалогову базу даних об'єктів з функціональними можливостями контролю, конфігурування та архівування даних. ClearSCADA забезпечує механізми взаємодії із зовнішніми базами даних – SQLServer, Oracle, MySQL.

Інтелектуальна система управління процесом буріння розглядається як інтелектуальний додаток у загальній архітектурі CIM, що забезпечує інтелектуальну діагностику, виправлення та аналіз.

## 2.3. Оптимізація даних

### 2.3.1. Складності отримання даних та їх обробки

Сучасне виробниче середовище є надзвичайно складною сутністю з великими обсягами даних. Впровадження технічних рішень по автоматизації свердловин надає персоналу, що експлуатує нафтові поклади, нові можливості. Так, системи телемеханіки можна використовувати для проведення автоматизованих динамічних досліджень, системи контролю технологічних параметрів - для запису перехідних процесів. Маючи динамічні дані про параметри роботи свердловин (в тому числі тренди, що описують перехідні процеси в свердловинах і газозбиральних мережах), можна використовувати отриману інформацію для реалізації знання-орієнтованої системи. Така система дозволяє здійснити функціональну інтеграцію наявних систем автоматизації для забезпечення оптимального управління режимами експлуатації комплексу геологічних і технологічних об'єктів.

Розмір даних про технологічні процеси визначає складність для знання-орієнтованої системи, що їх опрацьовує [63].



Рис.2.7. Залежність обсягу обробки даних від складності процесів



При використанні ІІ для обробки великих масивів інформації стає можливим вирішення наступних завдань: коригування та забезпечення адекватності геолого-технологічної моделі родовища; автоматизований розрахунок матеріального балансу по виробництву і родовищу в цілому; оптимізація розподілу навантаження по свердловинах і ефективне планування заходів з капітального ремонту та інтенсифікації; створення системи управління режимами роботи родовища.

### **2.3.2. Особливості залучення ІІ при оцінці інформаційних потоків**

ІІ спирається на алгоритми, керовані даними, і створює нове інформаційне середовище. Ці розрахунки зумовлені збільшенням обсягу великих даних, датчиків і мереж, а також перехресної інформації, тому розвиток ІІ, пов'язаний з великими даними, датчиками та мережами та перехресними засобами масової інформації. Злиття та інтелектуальний аналіз безлічі джерел інформації пов'язані з еволюцією знань системи, і є необхідними засобами вирішення “великих даних”.

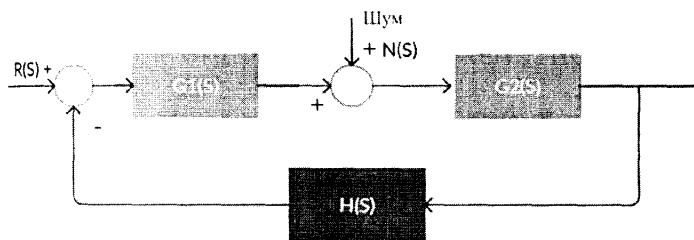
Дослідження використання великих даних та їх перетворення у корисні знання, а також зі знань в розумну поведінку, пов'язує дані технологічного процесу буріння та підтримує їх поєднання з метою розробки управлінських рішень. Необхідним є дослідити форми отримання знань, що поєднують дані з іншими технологіями для застосування нових методів та програмного забезпечення, що опрацьовує знання.

Отримані масиви даних не готові до використання, тому перед обробкою необхідно здійснити перетворення вихідних даних у форму, яку можна використовувати для побудови бажаних методів прогнозування. Експертний компонент ІІ використовується для виявлення необхідності вирішення того, який метод оцінки застосовувати з урахуванням ситуації, пошуку, розпізнавання шаблонів, навчання, виправдання та пояснення тощо.

Існує багато аспектів розгляду та формулювання підходів оцінки та адаптації даних до традиційних структур управління. Загалом, чим більше є інформації про технологічний процес, що контролюється та природу шуму, що

потрапляє в систему, тим якісніше налаштування до структури керування. Метою є не дублювання традиційної математики та теорії управління, а вирішення питань та можливостей у розробці підходу, що базується на знаннях.

Жоден підхід оцінки явно не враховує всі або навіть більшість аспектів проблеми. Підхід, заснований на знаннях, який є гнучким, включає в себе низку підходів до оцінки та може навчитися та адаптуватися з часом, і міг би врахувати всі аспекти. В ході дослідження та розробки підтверджено високій ступінь важливості функціонального представлення всіх даних. На рис. 2.8 показана проста традиційна система управління в частотній області з простим припущенням про шум. При відомих змінах в технологічному процесі у часі, при входженні в систему збурень та шуму, як на схемі, і відомій його природі з часом, можна сформулювати проектну проблему, яку потрібно вирішити для контролера та чутливого елемента з урахуванням специфікації цілей.



- R (S) - опорний вхід
- C (S) - вихідний результат
- N (S) - шум
- G<sub>1</sub>(S) - технологічний процес
- G<sub>2</sub>(S) - контролер
- H (S) - чутливий елемент  
(елемент зворотного зв'язку)

Рис. 2.8. Обробка шуму у традиційному контролі

$$\frac{C_N(S)}{N(S)} = \frac{G_2(S)}{1 + G_1(S)G_2(S)H(S)}$$

$$C_R(S) = \frac{G_1(S)G_2(S)}{1 + G_1(S)G_2(S)H(S)}$$

$$C(S) = C_R(S) + C_N(S)$$

$$C(S) = \frac{G_2(S)}{1 + G_1(S)G_2(S)H(S)} (G_1(S)R(S) + N(S))$$

Принцип вибору моделі є важливим аспектом побудови інтелектуальної системи. Міркування необхідні для вибору рішення з банку моделей рішень. Посилання на модель у поєднанні зі статистичною компенсацією та компенсацією

часу дозволяють системі автоматично виявляти та вмикати мертвий час та добре налаштувати структуру управління. Крім того, посилання на модель разом із методами специфічними для даної області дозволяє системі приймати деякі обмежені рішення щодо проектування управління. Статистичні методи, особливо аналіз часових рядів, доцільно використовувати при формулюванні комбінованих підходів до оцінки, які є надійними в умовах мінливого та невизначеного процесу буріння.

Підходи до розпізнавання корисних даних представляють відкриту область для досліджень. У деяких випадках, таких як відсікання та стискання, вони вказуватимуть на необхідність налаштуватися і, разом із інтелектуальним пошуком параметрів управління за допомогою моделювання, можуть представляти потужну область для дослідження. Оскільки каталог зразків рішень на основі знань стає дуже великим, зростає і реальність створення ідеального комбінованого підходу для адаптації.

Через складність та різноманітність вихідних даних процедура адаптації поділяється на два основні етапи:

1. виправлення даних.
2. попередня обробка даних.

На етапі виправлення даних аналізуються вихідні файли, що містять необроблені дані, і для кожної змінної будується правильне представлення. Після цього набір даних буріння підпорядковується набору правил та інструкцій, метою якого є виправлення помилок та невідповідностей, виявлених при уважному огляді кожного набору даних. Деякі з цих правил мають загальну дію для свердловин, тоді як деякі пристосовані до конкретних аномалій, виявлених лише в даних деяких конкретних свердловин.

На етапі попередньої обробки даних набори даних із фіксованими даними завантажуються та перетворюються з метою отримання корисних додаткових змінних (наприклад, для обліку наявності колон, або діяльності зі зміни стану тощо). Після цього на перетвореному наборі даних виконується ряд перевірок

узгодженості, щоб виявити, чи є в наборі даних залишкова помилка. Далі дані записуються у файл та надаються для подальших кроків аналізу.

Створення бази даних для симуляції процесу буріння передбачає виявлення множин, що характеризують ускладнення і нормальну роботу, виділення тестових навчальних вибірок, скорочення отриманих даних, стиснення та їх фільтрація. Дані буріння з різних джерел, формуються у підмножини.

- підмножина «Давачі» містить повний часовий ряд змінних, що відстежуються під час досліджуваних робіт на свердловині (тобто, від початку бурової діяльності або до її успішного завершення, або відмови через ускладнення).

- підмножина «Ускладнення» повідомляє про групу даних проблем, що виникли під час бурових робіт. Зокрема, події, які ми розглядали до цього часу, - це прихоплення труби, які перелічені разом із мітками часу початку та розв'язання.

- підмножина «Колона» повідомляє дати та глибину початку операцій з спуску колони.

- в підмножині «Літологія» перелічені глибинні тракти, пов'язані з певним літологічним складом.

- підмножина «Траєкторія» доповнює набір даних «Давачі», надаючи відносні координати бурового долота в деяких точках стовбура свердловини. Дуже корисно реконструювати траєкторію відхилених свердловин.

### 2.3.3. Виправлення даних

Перед операцією попередньої обробки вихідних даних необхідно встановити рівень фіксації цілісності даних. Підмножини даних бурових свердловин мають багато змінних, які пов'язані між собою логічними та / або математичними співвідношеннями, що безпосередньо впливає на їх потенційне використання на етапі моделювання та прогнозування. Аналіз підмножин показує, що необхідним є виправлення даних, щоб перетворити вихідні дані у відповідну форму для проведення обчислень.

Деякі з цих виправлень є загальними для кожної підмножини даних, і тому здійснюються системно (так само як для нових, майбутніх наборів даних). Інші є специфічними лише для цієї свердловини і виявляються при уважному вивченні часових рядів змінних кожної свердловиною. Вони можуть розглядатися як виправлення всіх невідповідностей та помилок, виявлених до цього часу під час аналізу, і є продуктом перевірок узгодженості, здійснених на етапі попередньої обробки даних.

Перевіряється надійність значень, яке використовується для позначення відсутнього значення з сенсорів замінюється на NaN (Not-a-Number), відсутні значення часових рядів заповнюються лінійною інтерполяцією між екстремумами, значення відсутнього значення глибини свердловини на певний момент, забезпечується шляхом прийняття мінімуму (або максимуму, відповідно до його ознаки) значення глибини проникнення долота.

Кодування міток часу, що з'являються в наборах даних узгоджуються згідно відповідного формату часового поясу Європа/Київ (GMT+2), ліквідується неузгодженість при переході на літній час чи навпаки.

Здійснюється перевірка знаку значення (додатній або від'ємний), невідповідні значення встановлюються на нуль.

Встановлюються фактичні значення параметрів буріння через взаємозв'язок інших параметрів, наприклад значення швидкості буріння встановлюється рівним нулю, коли показник проникнення долота не змінюється є постійним, оскільки, коли долото не бурить, швидкість проникнення дорівнює нулю за визначенням. Це не так у жодному з вихідних наборів необроблених даних.

Налаштовуються одиниці виміру, наприклад швидкість проникнення перетворюється в м/год. з мм/год.

При високій мінливості показників, оцінюється рівень шуму і згладжуються показники, наприклад показників швидкості проникнення при паузі в бурінні після початкової установки свердловини.

### 2.3.4 Попередня обробка даних

Після того, як цілісність даних забезпечена за допомогою модуля фіксації, наступним кроком є попередня обробка даних. Це передбачає вибір системи ознак подій, перетворення даних відповідним чином для подання їх на вхід системі (виявлення значних підмножин, нормування, стандартизація), зокрема

1. Визначення тривалості експлуатації обсадної колони. Діапазон експлуатації колони - це проміжок часу від початку дії колони (який доступний у наборі даних «Колона», хоча з певною невизначеністю щодо точного часу) до завершення, який визначає момент відновлення буріння. Така точка не відома заздалегідь, тому її потрібно обчислювати безпосередньо використовуючи дані підмножини «Давачі».

2. Обчислення змінних глибини свердловини. Ці змінні відображення стану свердловини, яка ще не захищена колоною. Це дуже важливо в випадку прогнозу ускладнень прихоплення, оскільки прихоплення труби трапляються поза обсадженою частиною стовбура свердловини, і ця інформація повинна бути включена до набору даних.

Іншими операціями, які виконуються на етапі попередньої обробки, є такі:

- Налаштування знаків змінних буріння. На самому початку етапу попередньої обробки знак змінних буріння регулюється, щоб мати негативні глибини.

- Перевірка узгодженості: Перелік перевірок узгодженості, який відображає спеціальні знання апріорні для конкретного параметру - чи мають змінні правильний знак і чи відповідає їх динаміка заздалегідь заданим межам.

Остаточна версія попередньо оброблених та фіксованих даних трансформується для отримання корисних структур даних. Логічний підхід до рішення передбачає дискретну інтерпретацію даних датчиків за часом і за розмірами.

Отриманий набір даних має два індекси, один, який відображає глибину проникнення злиття, а інший - на час злиття. Таким чином, ми маємо значення

датчиків, агрегованих за двома різними осями. Враховуючи потрібну (глибину, час, особливість), тепер можна отримати всі дані датчика, пов'язані з цим.

Таким чином розглядається три фази опрацювання даних:

1. Отримання: дані збираються із збережених даних датчика свердловини для конкретної фази буріння.
2. Трансформація: дані опрацьовуються, агрегуються за глибиною.
3. Завантаження: перетворені дані завантажуються (зберігаються) у зручних структурах даних.

Навчання - це важлива здатність знання-орієнтованої системи, яка вимагає здійснення вибору, організації та параметризації налаштування підходів у реальній системі. Методи навчання повинні мати можливість визначити, яких підходів до налаштування слід уникати на певних структурах управління.

Оптимізація організації даних спрощує та підвищує ефективність роботи експертної системи оцінюючи дані в залежності від обставин. Цей підхід, застосовується до систем, в яких параметри налаштування, є функціями вимірюваних змінних, таких як рівень або температури. Завдяки апріорній специфікації графіків параметрів, вивченню методики щодо графіків параметрів з часом, експерт система повинна мати змогу міркувати і використовувати константи налаштування, які застосовуються в певних діапазонах експлуатації середовища установки на деяких структурах управління.

Традиційні обчислювальні середовища, такі як РС, є ідеальною архітектурною та реалізаційною платформою для інтелектуального середовища моделювання. Вони забезпечують потужне програмне забезпечення пропозиції продуктів, а також важливі засоби розподіленої комунікації. У галузі технологій реляційних баз даних вони мають основу для стабільної архітектури зберігання для бази знань інтелектуального середовища моделювання. Побудувавши інтелектуальне середовище моделювання на традиційному комп'ютері в поєднанні з пропонованою структурою реляційної бази даних, можна створити надзвичайно гнучку, інтегровану та розширювану інтелектуальну систему автоматизації. Зберігання всіх об'єктів, пов'язаних із поточними результатами

моделювання, у реляційній базі даних забезпечує міцну основу для розуміння процесів у всій архітектурі CIM.

Інтеграція інших методів навчання в CBR, є частиною нинішньої тенденції досліджень машинного навчання щодо мультистратегічних систем навчання. Це дослідження спрямоване на досягнення інтеграції різних методів навчання (наприклад, навчання та індукція на основі конкретних випадків) у цілісну структуру, де кожен метод навчання виконує певну та чітку роль у системі. Структурна схема застосування методів машинного навчання при опрацюванні даних, виявленні і прогнозуванні позаштатних ситуацій, прийняття рішень приведена на рис. 2.9.

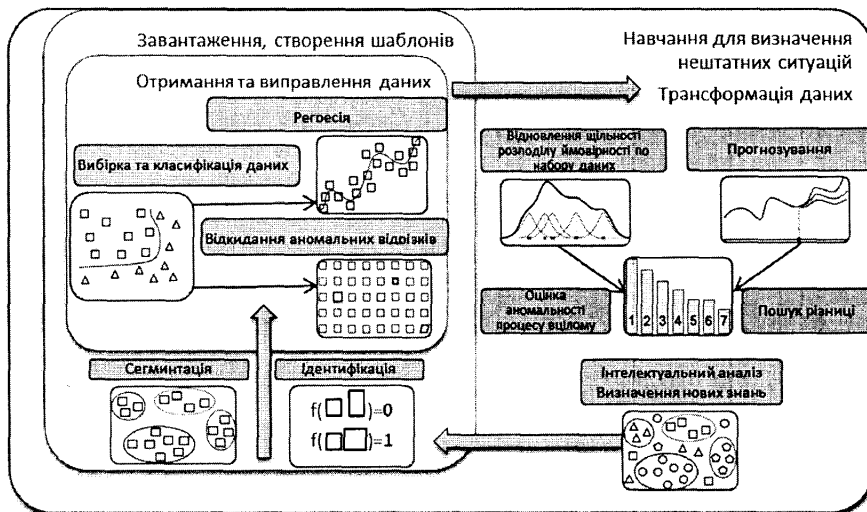


Рис. 2.9. Структурна схема застосування методів машинного навчання при опрацюванні даних з метою прийняття рішень

Реалізація оптимізації даних дозволила вирішити наступні задачі:

1. Класифікувати ускладнення та аварії при здійсненні технологічних процесів з використанням методів ШІ.
2. Визначити оптимальну структуру бази даних вхідної геолого-технічної інформації.
3. Визначити фази циклу обробки даних буріння з інтеграцією методів ШІ.
4. Здійснити розробку алгоритму зворотного зв'язку і подання рішень, щодо експлуатації свердловин.



## 2.4. Перспективи застосування case-базованих технологій інтелектуального моделювання технологічного процесу в практиці буріння

Найчастіше у реальному бурінні важко чітко встановити точний опис складного процесу, який є комбінацією механічних, електричних, хімічних та термодинамічних сутностей. Частіше фактичні дані процесів у даному класі суттєво відрізняються від теоретичних абстракцій, які розуміються на рівні наукових досліджень. Моделювання є початковим кроком між активною розробкою програми, яка може автоматично закрити цикл зворотного зв'язку та безпосередньо впливати на виробничі відносини, та розробкою суто автоматизованого циклу, що може вплинути та впорядкувати операції в реальному світі. Моделювання є основою застосування штучного інтелекту, і являє собою справжню передумову для подальшої інтелектуальної автоматизації.

Необхідною умовою побудови інтелектуальних додатків є точний, сучасний та корисний опис базових компонентів процесу. Цей опис є ключовим для подальших інтелектуальних міркувань на основі бази знань для формулювання рішень таких проблемних областей, як контроль та оптимізація, статистичний контроль процесів, планування та управління сигналізацією.

Метою моделювання є повторне відстеження процесу буріння та відображення стану свердловини раз за разом. Важливою вимогою при створенні інтелектуального середовища є достатній обсяг даних, в рамках даного дослідження про нестандартні ситуації, для коректного навчання системи. В роботі ця вимога була забезпечена засобами повномасштабного бурового тренажера. Симуляція технологічного процесу буріння з використанням бурового тренажера дозволила відтворити процеси що відбуваються в реальних умовах буріння. Моделювання ускладнень засобами тренажера забезпечує необхідний обсяг даних для здійснення дослідження.

В області інтелектуального контролю та оптимізації ключовим компонентом є модель технології управління та топології. Інтелектуальне

середовище у вигляді тренажера, здатне покращувати точність описів основних процесів і здійснювати параметричне оптимальне керування установкою буріння.

Інтелектуальне моделювання спирається на об'єктно-орієнтований механізм успадкування із загальною систематикою для конкретного технічного процесу, що дало можливість описати декларативний компонент бази знань. Це дозволило структурувати загальну галузеву проблему у формі, яка спрощує модифікацію. Такі модифікації охопили глибину знань про технічний процес буріння шляхом заповнення набору екземплярів для цього процесу.

Враховуючи високу ступінь складності технологічного процесу та великий обсяг даних на вході важливим є вибір методу, що використовується для моделювання політики буріння оператора. Під час збору даних деякі давачі можуть мати збої, і, як наслідок, дані можуть мати невідповідності. Ці давачі можуть не працювати певний час або передавати неправильні та недостовірні дані. Коли виникає несправність давача, необхідно прийняти рішення: вилучити дані або змінити їх. Фундаментальним для передбачення цього типу завдань є побудова бази знань, яка використовує методи штучного інтелекту та експертних систем, а також тісно інтегровану традиційну логіку.

У машинному навчанні існує величезна кількість різних моделей, найпопулярнішими з яких є:

- метод опорних векторів (support vector machine, SVM);
- метод k-найближчих сусідів (k-nearest neighbors, k-NN);
- дерево прийняття рішень (decision tree) і випадковий ліс (random forest);
- гауссовський процес (Gaussian process);
- байєсівську теорію класифікації;
- еволюційні алгоритми, які моделюють процеси природного відбору;
- алгоритми посилення (бустінга): AdaBoost, BrownBoost, CoBoost і т.д. ;
- ансамблевий навчання (ensemble learning);
- марківські процеси;
- метод головних компонент (principal component analysis, PCA);
- штучні нейронні мережі;

- лінійна і логістична регресії;
- метод k-середніх (k-means).

В дослідженні запропонованим підходом для заповнення пробілів у базі даних або модифікації невідповідних даних є використання засобів моделювання на основі case-базованих технологій. Використовуючи цю технологію, можна створити змодельований часовий ряд із подібними рисами історичного ряду. Метод CBR включає в себе цикл, що складається з таких основних етапів: пошук і відбір, повторне використання та збереження (рис. 2.10).

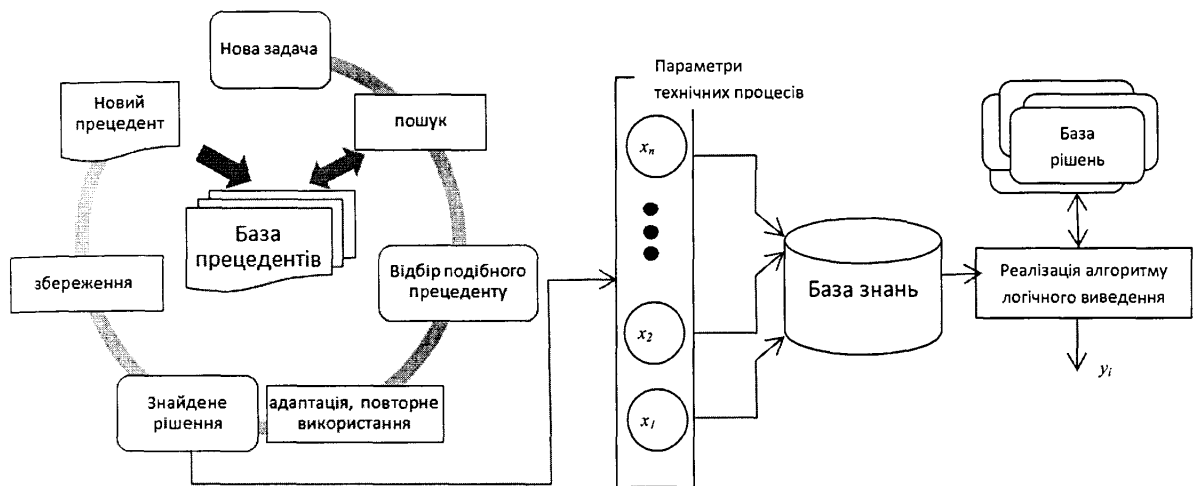


Рис. 2.10. Схема алгоритму прийняття рішень на основі CBR

Однак, прецеденти, не завжди використовуються ефективно для аналізу процесів через відсутність добре організованих даних, де існує величезний потенціал перетворення даних у знання. Організація та вдосконалення даних стали важливими компонентами при створенні моделей оптимізації характеристик буріння.

При моделюванні знання орієнтованих систем значущість підходу планування на основі прецедентів (Case Based Planning), що полягає в використанні попереднього досвіду, полягає в тому, що:

- система планування стає адаптивною до предметної області (тобто на основі вдалих і невдалих спроб планування поповнюються і/або уточнюються знання

про предметну область, що дозволяє застосовувати подібні системи в динамічних середовищах);

- використання досвіду може підвищити ефективність планування за рахунок використання при складанні нових планів фрагментів готових рішень (Наприклад, після постановки нового завдання планування забезпечується пошук аналогів в бібліотеці прецедентів, проводиться модифікація обраного прецеденту шляхом заміни в прецеденті мети і початкових умов, а потім за допомогою імітації виконується перевірка отриманого рішення і виконання плану в реальному середовищі).

Моделювання засобами кейс-базованого підходу надає ряд переваг перед іншими методами:

- Розподіл змінних моделі не потрібно апроксимувати будь-яким чином;
- Моделюється кореляція та інші взаємозалежності;
- Рівень математики, необхідний для виконання моделювання є досить базовим;
- Комп'ютер виконує всю роботу, необхідну для визначення розподілу результатів;
- Програмне забезпечення є комерційно доступним для автоматизації завдань, що беруть участь у моделюванні;
- Кейсбазоване моделювання є загальноновизнаним як дійсний прийом, тому його результати, будуть прийняті;
- Поведінку моделі можна дослідити;
- Зміни в моделі можуть бути внесені швидко, а результати порівняти з попередніми моделями.

Основною метою запропонованого методу є пошук імітаційної моделі, заснованої на відтворенні поведінки історичних даних, що в свою чергу дозволяє ефективно визначити ненормальні моделі даних у фактичному виробництві.

Для створення бази знань знання-орієнтованої системи необхідним є інформація про сотні прецедентів.

Ряд досліджень визнають наявність проблеми недостатнього навчання – недостатню кількість аварій та нештатних ситуацій[66].

При проведенні дослідження було опрацьовано реальні дані, що надходять з експлуатаційних свердловин, передані ПАТ «Укрнафта». Але при прийнятті рішення система повинна розпізнавати випадки, які є не тільки нетиповими, але такими які в реальних умовах буріння намагаються звести до мінімуму. Політика проведення технологічного процесу передбачає вжиття всіх можливих засоби до недопущення нештатних, аварійних ситуації і ускладнень.

Процес буріння за своєю природою характеризується високим рівнем невизначеності, до цього також потрібно додати, що недостатність прецедентів або їх неадекватність становить ризик для відповідності навчання інтелектуальної системи, тому для побудови знання-орієнтованої системи доцільним є використання інструментів класу «Бурові тренажери». Характеристики тренажеру Drillsim5000 забезпечують моделювання інженерно-технічних, виробничо-експлуатаційних та техніко-економічних показників технологічних комплексів з урахуванням фактичного стану нафтогазових об'єктів.

Запропонована в дослідженні реалізація не успадковується безпосередньо від Drillsim5000, але побудовано частково на основі проекту Drillsim5000. Тренажер – це інструментарій для отримання необхідного обсягу даних для розробки та порівняння алгоритмів навчання.

Функціональні можливості тренажера DrillSim-5000 дозволяють зробити модель свердловини, максимально наближену до реально пробуреної свердловини. Припускаємо, що необхідний рівень точності можна досягти збільшенням кількості ітерацій в моделюванні. Обмеження полягають у кількості даних, які можуть бути використані.

Згідно ієрархічної моделі бази знань процес пошуку рішення являє собою наступну послідовність кроків:

Крок 1. На підставі відомостей про технологічний процес буріння, факторів, що впливають, робиться висновок про можливий вплив на процес.

Крок 2. Уточнення технологічної спадковості процесу і висновок про можливу зміни ускладнення.

Крок 3. Уточнення відхилень і висновок про можливі наслідки ускладнення.

Крок 4. Уточнення наслідків і висновок про причини виникнення ускладнення.

Крок 5. Висновок про необхідні заходи для усунення причин виникнення ускладнення. Послідовність цих дій повторюється для кожної стадії розвитку ускладнення.

Моделювання свердловин - важлива техніка досягнення оптимізації процесу буріння, особливо при виникненні ускладнень. Нечітка логіка - це штучна інтелектуальна техніка, яку можна використовувати для отримання більшої доданої вартості в буріння свердловин. В дослідженні нечіткі логічні підходи буріння свердловин враховують конструктивний аспект, де існує багато невизначеностей, які краще обробляти за допомогою нечітких логічних моделей.

При проведенні моделювання технологічного процесу за основу було взято проаналізовані параметри свердловин Микуличинського родовища. Микуличинське родовище відкрито у 1990 р. свердловиною № 2-Микуличин і в 1991 році введено у дослідно-промислову розробку (див. Додаток Б).

У геологічній будові Микуличинського родовища приймають участь крейдово-палеогенові відклади флішу і неогенові відклади молас Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину та крейдово-палеогенові – Скибової зони Карпат В тектонічному плані Микуличинське родовище знаходиться в південносхідній частині Внутрішньої зони Передкарпатського прогину на північний захід від Покутського розлому. Дане родовище приурочене до одноіменної антикліналі третього ярусу структур. Микуличинська антиклінальна складка розбита поперечними розломами на три блоки: Лючківський, Слобода-Рунгурський і Березівський, останній, в свою чергу, поперечним тектонічним порушенням розбитий на дві ділянки. На Микуличинському родовищі поклади нафти приурочені до вигодських і манявських відкладів еоцену і менілітових (клівського та підроговикового

горизонтів) олігоцену. Колекторами нафти в продуктивних горизонтах є пласти пісковиків і алевролітів з гранулярним типом пористості, за умовами утворення колектори відносяться до осадових відкладів, за речовинним складом – до теригенного типу порід. За технологічною класифікацією нафта родовища відноситься до середньої за густиною, в'язкої, високопарафіністої, малосірчистої, за вмістом масел до групи М1, за вмістом фракцій, що википають до 350 °С до типу Т1, за вмістом смол і асфальтенів до малосмолистих. Станом на 01.11.2018 р., у експлуатаційному фонді родовища знаходиться 13 нафтових свердловин, з яких чотири свердловини експлуатують олігоценний поклад в межах Слобода-Рунгурського блоку, три свердловини – олігоценний поклад І ділянки Березівського блоку, шість свердловин – еоценовий поклад Слобода-Рунгурського блоку та три свердловини – еоценовий поклад І ділянки Березівського блоку. Свердловини 6, 26, 33 експлуатують перелічені вище продуктивні горизонти сумісно. Газова свердловина 10, що експлуатує еоценовий поклад в межах Березівського блоку, зупинена в грудні місяці 2017 р. За структурно-тектонічним та стратиграфічним поділом обґрунтовано виділення чотирьох експлуатаційних об'єктів подальшої промислової розробки:

- I об'єкт – нафтовий поклад олігоценних відкладів Слобода-Рунгурського блоку;
- II об'єкт – нафтовий поклад олігоценних відкладів І ділянки Березівського блоку;
- III об'єкт – нафтогазоконденсатний поклад еоценових відкладів Слобода-Рунгурського блоку;
- IV об'єкт – нафтовий поклад еоценових відкладів І ділянки Березівського блоку.

На Микуличинському родовищі за весь період розробки пробурено 16 свердловин (2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 10Д, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 33), в тому числі одну оціночну (4), одну пошукову (2), сім розвідувальних (3, 6, 7, 8, 9, 10, 10Д) та сім випереджувально-експлуатаційних (21, 22, 23, 24, 25, 26, 33), з яких практично всі (за винятком свердловин 4 та 10Д.

За величиною видобувних запасів нафти промислових категорій Микуличинське родовище відноситься до дрібних (1-5 млн.т), за складністю геологічної будови, фазового стану вуглеводів, умовами залягання і мінливістю властивостей продуктивних пластів – до родовищ дуже складної будови.

Микуличинське нафтогазове родовище є одним з останніх розвіданих родовищ регіону. Запаси оцінюють у 29 млн т нафти. Середній промисловий приплив нафти родовища обсягом більше 80 т за добу, газу 70 тис.м куб.

У процесі аналізу в роботі побудована модель свердловини №9 Микуличинського родовища на етапі буріння під експлуатаційну колону. Основні параметри свердловини, такі:

Середній промисловий приплив нафти обсягом більше 20 т за добу

Глибина свердловини по стовбуру / по вертикалі: 3330 метрів.

– направлення діаметром 426 мм, глибина 30 м (долото 490 + розширювач 558.8)

– кондуктор діаметром 324 мм, глибина 150 м (долото 393.7)

Глибина спуску проміжної обсадної колони по стовбуру/по вертикалі: 3150 метр.

– проміжна колона діаметром 245 мм, двома секціями (долото 295.3)

– експлуатаційна колона діаметром 148x168 мм, проектна глибина (долото 215.9)

Густина бурового розчину: 1.12- 1.45 кг / л.

Тип бурового розчину: на нафтовій основі.

Умовна в'язкість бурового розчину: 25-300 с.

Оптимальна альтернатива розробка Микуличинського родовища: додаткове буріння 13 нових свердловин, рентабельний період (2018-2027рр.), очікуваний видобуток – 232.56 тис. т нафти, 64.8 млн м<sup>3</sup> природного газу.

Аналіз якості та принципів отримання даних щодо технологічного процесу буріння визначає порядок, в якому навчається знання-орієнтована система і є визначальним фактом для можливості обробки серій подій, що мають прецедентів в минулому.



Важливим стало питання організації конкретних вхідних параметрів роботи інтелектуальної системи з метою моделювання нештатних ситуацій.

Для навчання і перевірки роботи знання-орієнтованої системи використано дані змодельованих ситуацій засобами тренажера Drillsim5000.

Методика проведення моделювання передбачала наступну методику

- Задання апріорних параметрів моделі

- Запуск процес буріння свердловини

- a. Початкові умови: долото на забій, насоси вимкнені, ротор вимкнено.

- b. Запуск насосів (швидкість кожного разу вибиралася довільно в діапазоні 60-100 хід / хв) .

- c. Запуск ротора (швидкість обертання 60-140 об / хв) .d. Спуск долота на забій, створення навантаження на долото (в діапазоні 4-10 тон), початок процесу буріння.

- Процес буріння без ускладнень проведено протягом 20-40 хвилин.

- Здається тип ускладнення.

- В залежності від типу модельованого ускладнення порядок дії, наступний:

- a. При отриманні прямих ознак ускладнень типу «газонафтоводопроявів» підйом долота з забою, зупинка обертання, циркуляції, закриття противикидного обладнання, очікування стабілізації тисків.

- b. При виникненні ускладнення типу «поглинання» продовжувати буріння 5 хвилин, потім зупинити насоси і почекати ще 5 хвилин перед припиненням експерименту.

- c. При виникненні проблем з ускладненням типу «шламонакопичення» підвищення частоту обертання ротора і швидкість роботи насоса, намагаючись зменшити висоту шламової подушки, або знизити навантаження на долото.

Продовжувати буріння ще протягом 30 хвилин або до ускладнення типу «прихоплення» бурильної колони і зупинки обертання ротора.

- В отриманому графіку встановити мітку початку типу ускладнення, і передати отриманні дані для проведення аналізу даних із застосуванням алгоритмів ІІІ.

Прі виконанні експерименту оператор (бурильник) безпосередньо регулює наступні параметри: швидкість та частоту обертання ротора і навантаження на долото, як зниження параметра «навантаження на гак». Інші параметри є вихідними для бурильника. На їх основі здійснюється моніторинг ходу технологічного процесу.

Таким чином, з'ясовано, що застосування методів машинного навчання при інтелектуальній автоматизації технологічного процесу буріння ускладнено необхідністю обробки великих масивів даних. Було розглянуто питання оптимізації вхідних даних шляхом перевірки на адекватність та коректування геолого-технічної моделі даних, що використовується знання-орієнтованою системою.

Виявлено, що критичним питанням в процесі навчання інтелектуальної системи, що імітує процес буріння є визначення закономірностей технологічного процесу, складність полягає в обмеженій кількості прецедентів, що пропонується системі з реально діючих нафтогазових об'єктів. Доведено можливість використання систем «Бурові тренажери» для отримання адекватних наближених до реальних даних про нештатні ситуації технологічного процесу буріння. Отримання даних моделювання засобами тренажера стало основою розробки програмного рішення, що передбачає навчання знання-орієнтованої системи.

Основою розробки програмного рішення інтелектуальної автоматизації технологічного процесу буріння є:

- застосування ШІ для прогнозування, моделювання і управління;
- використання інструментів класу «Бурові тренажери» для побудови інформаційних моделей нафтогазових об'єктів;
- організація баз даних з інформацією, що надходить з бурового комплексу в процесі буріння і будівництва нафтогазових свердловин, шляхом оптимізації масивів структурованих і неструктурованих даних і використання єдиного інформаційного ресурсу для забезпечення можливості його використання інтелектуальною системою.

## Висновки до другого розділу

1. Виконано дослідження основних об'єктів машинного навчання та нафтогазових свердловин з метою врахування рівня технічного співвідношення між ними. В результаті якого шляхом запропонованої послідовності обробки інформації, ідентифікації даних згідно шаблонів класифікації та набуття знань інтелектуальною автоматизованою системою керування досягається вищий рівень діагностики та надійності процесу буріння.

2. Визначено принципи адаптації та інтерпретація даних щодо технологічного процесу буріння, яка дозволяє визначити необхідні і достатні умови оптимізації основних показників адекватної математичної моделі процесу буріння для проектування інтелектуальної системи керування.

3. Доведено можливість застосування методів машинного навчання до завдань аналізу даних, пов'язаних із процесом буріння, які визначають переваги використання інтелектуальної обробки даних з врахуванням історичної інформації для створення окремих компонентів інтелектуальної системи прийняття рішень.

4. Розглянуто напрямки покращення стратегії технічного обслуговування, шляхом здійснення контролю на всіх етапах циклу виробництва, встановлення пріоритетів, щодо обслуговування активів, планування роботи. ШІ розглянуто як засіб, що дозволяє уникнути відволікання на непотрібні дані, створення покращеної видимості процесу, а відповідно покращення безпеки та підвищення ефективності процесу прийняття рішень.

## РОЗДІЛ 3

# МОДЕЛЮВАННЯ МІРКУВАНЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

### 3.1. Формування бази прецедентів

На прикладі сучасного досвіду вирішення слабоформалізованих завдань з використанням накопиченого досвіду [67-69] пропонується застосувати для дослідження технічного процесу буріння удосконалити гібридний підхід, заснований на міркуваннях по прецедентах.

У підході CBR підтримка прийняття рішення здійснюється шляхом використання знань для раніше вирішеної проблеми. Тому опис ситуації повинен представляти проблему обґрунтовано та правильно. Зменшення витрат та/або часу без шкоди для безпеки є ключовими цілями для оптимізованих результатів буріння. Нафтову свердловину бурять, обертаючи долото гірської породи, прикріплене до нижньої частини бурильної колони. Формально буріння полягає в видаленні з свердловини, засобами циркуляційної системи (тобто бурової рідини, що перекачується через отвір), ґрунту, що навмисно виробляються долотом і ненавмисно надходять зі стіни свердловини в процесі буріння. Буріння є складним завданням при бурінні нафтових свердловин через кількість параметрів, і ускладнюється тим, що при нераціональних діях оператора, можуть бути ініційовані інші важливі проблеми будівництва свердловини, які можуть навіть спричинити відмову від розробки свердловини або її частин. Висока вартість буріння та затрата часу вимагають якнайменшого скорочення ненавмисних простоїв. Оцінки експертів здійснені при дослідженні різних свердловин, можуть зробити проблему більш передбачуваною, що є головною мотивацією використання CBR для вирішення проблеми цього типу.

Цикл CBR (див.рис.2.10) показує, що після отримання опису проблеми, отримуються подібні випадки, що зберігаються в базі знань, та їх відомі рішення. При знаходженні випадків в базі знань пропонується рішення для нових випадків,

і після розгляду нового випадку можна зберегти та посилити базу прецедентів. Для прийняття рішення найбільш релевантний випадок є цінний для використання. Тому важливим кроком є пошук відповідного попереднього випадку, який може бути використаний для розв'язку даної проблеми. Основою удосконалення підтримки прийняття рішень для досягнення оптимізації характеристик технологічного процесу буріння є врахуванням особливостей ускладнень і розробка імітаційної моделі зі структурою опису проблеми, шляхом визначення ключових параметрів.

На вибір видобутих прецедентів впливає можливість їх успішного застосування (адаптації) в конкретній ситуації, тобто наявність відомостей про їх використання в ситуації, що склалася. Автоматизація процесу адаптації рішення, отриманого за аналогією (по прецедентах), є складним завданням і зараз вирішена лише частково. Часто в ній немає необхідності, оскільки знайдені прецеденти містять достатньо інформації для прийняття рішення. Адаптація приймає дві форми: а) повторна конкретизація (якісне перевизначення опису) прецеденту, включаючи уточнення значень параметрів, що призводить до повторного пошуку прецедентів і б) перетворення рішення, отриманого по прецедентах на підставі експертних знань за допомогою копіювання елементів рішення по аналогічній проблемній ситуації і його подальшого перетворення експертом.

Аналіз інформації щодо проблемних питань під час будівництва свердловин на родовищах ПАФ «Укрнафта» за останні роки свідчать, що з причин порушення технологічного процесу будівництва свердловини нерідко переходять в категорію аварійних і в середньому 20-25% від часу будівництва йде на боротьбу з ускладненнями та аваріями. Скорочення втрат робочого часу для усунення ускладнень і їх наслідків є однією з можливостей для збільшення коефіцієнта продуктивності робіт, скорочення часу при будівництві свердловин.

Як джерела даних при проведенні дослідження використовувалися дані 94 випадків ускладнень з розробки 25 свердловин 23 родовищ ПАТ «Укрнафта» (Анастасівське, Артюхівське, Бугруватівське, Козіївське, Старо-Самбірське, Барзаківське, Бугруватівське, Будівське, Долинське, Лопушнянське,

Пн.Долинське, Рудівське, Рудівсько-Червонозаводське, Сх.Решетняквіське, Тереснянське, Велико-Бубнівське, Гнідинцівське, Леляківське, Решетняківське, Сх.-Решетняківське, Сх.Калинівське, Ярошівське), архівні дані геолого-технологічних досліджень вітчизняних компаній-розробників. В результаті проведеного аналізу підтверджені і оброблені дані по ускладненнях різних типів. Основними видами є: осипи і обвалення нестійких порід, втрата герметичності колони, звуження стовбура свердловини текучими породами, поглинання бурового розчину, нафтоводогазопроявлення. Частка цих ускладнень становить більше 85% від загального числа фіксованих ускладнень; при цьому в річному балансі непродуктивних витрат частка витрат на їх усунення становить від 5 до 25% собівартості видобутого продукту. Різноманіття причин виникнення цього виду ускладнень і їх взаємозв'язок вимагає заходів щодо їх попередження.

Серед аварій основне місце займають руйнування бурильної колони(її елементів), прихвати бурильного інструменту внаслідок різних причин (в основному внаслідок дії перепаду тиску в зоні проникних порід і заклинювання колони бурильних труб), а також зминання обсадних колон.

Особливості та параметри джерела аварій визначають характер і масштаби засобів протидії та затрат часу. Джерелом аварій може бути бурове обладнання, природні чинники і суб'єктивні причини. Перш за все, це аварії, що сталися з вини виконавця, тобто виникли через суб'єктивні причини, їх частка складає понад 30%.

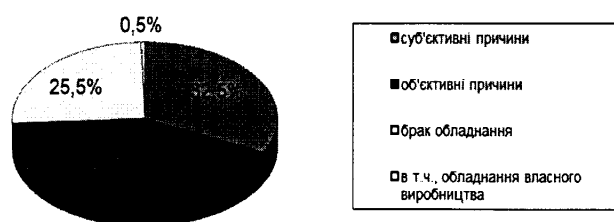


Рис. 3.1. Аналіз причин виникнення аварій

У цьому дослідженні проаналізовано інформація щодо проблемних питань під час будівництва свердловин на родовищах трьох УБР ПАТ "Укрнафта" – Охтирського, Прикарпатського та Прилуцького. Розглянуті 94 випадки

структуровано та збережено в базі даних. Для оцінки продуктивності було використано цей ряд випадків, з метою прогнозування проблем в процесі буріння.

Виробничі операції, в тому числі ліквідація ускладнень, технологічного процесу буріння мають різні часові масштаби. Керування бурінням, ліквідація ускладнень розглядається в наступних термінах рис.3.2.

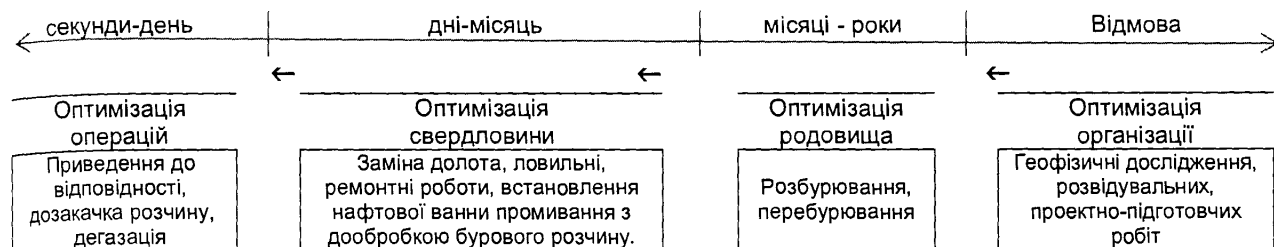


Рис.3.2. Часові масштаби ліквідації ускладнень буріння

Проблеми простою були розділені на дві групи проблем, кожна з яких містить чотири класи проблем. Перша група з 82 випадків представляє ефективність процесу буріння і поділяється на такі класи:

- умовно не потребувало зупинки процесу буріння або не застосовувався ніякий спосіб усунення - 17 ускладнень,
- незначного простою (до 30 діб) - 58 випадків,
- тривалого простою - 6 випадків,
- відмова від подальшого будівництва свердловини чи експлуатації 1 випадок.

Ділянка свердловини - це частина пробуреної свердловини, як правило, довжиною 500-2000 метрів. Щоразу, коли ділянка пробурена до кінця, в свердловину опускається колона. Колона представляє собою сталеву трубу великого діаметру, опущена в отвір, щоб забезпечити стабільність ділянки свердловини. Проблеми буріння в цьому аспекті також можуть призвести до значних втрат.

Проблеми, пов'язані з експлуатацією колони, позначені як проблеми групи 2 з 12 випадків. Друга група, також поділяється на ті самі чотири підкласи, що і перша.

У групі 2 є 5, 2, 1 і 4 випадки незначного простою, значного простою та відмови класу секції відповідно.

Таким чином, як показано на рис. 3.3, випадки були класифіковані на дві основні групи; «Ускладнення під час буріння» та «Ускладнення під час обсадки колони». Ці випадки представляють проблеми будівництва свердловини на різних етапах технологічного процесу буріння.

Кожна з цих груп також була розділена на чотири підкласи з точки зору тривалості простою. 94 випадки було розглянуто та класифіковано з урахуванням показника простою. Кожен із випадків має два класи як вихід згідно з легендою, показаною на рис. 3.3.

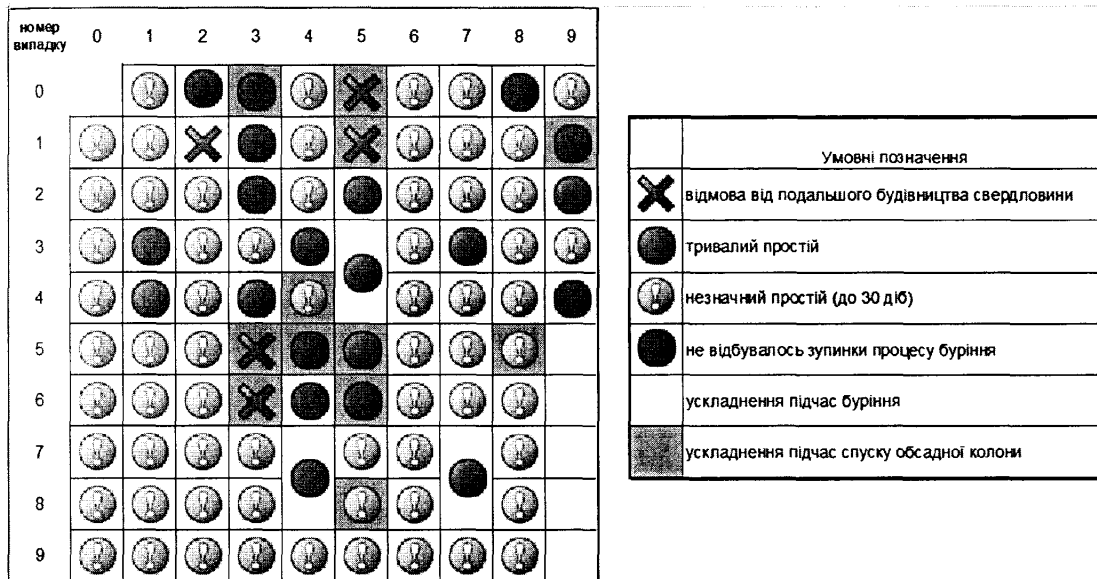


Рис. 3.3. Класифікація проблем за часом простою

Як видно з аналізу даних щодо випадків, кількість ускладнень на етапі спуску обсадної колони є менша, але помилки є критичніші для технологічного процесу буріння в цілому.

### 3.2. Оцінка подібності та алгоритм знаходження аналогів

Надійний процес пошуку вимагає ефективної оцінки подібності. Для обчислення значень подібності між новим випадком проблеми та випадком в основі проблеми використовуються два різні механізми. Лінійна подібність використовується для тих об'єктів, які мають числові значення. Семантична



подібність, спираючись на абстракцію понять, використовується для прямого або непрямого збігу значень символічних ознак. Останній, непрямий збіг, використовується при визначенні подібності на основі моделі.

Лінійний підхід явно обчислює значення подібності відповідно до мінімальних та максимальних значень кожної концепції. Максимум і мінімум кожної ознаки дають інтервал, і значення двох випадків порівнюються за цією шкалою, даючи значення 0, якщо різниця між значеннями така ж, як різниця між мінімумом і максимумом, і а значення 1, якщо значення однакові.

Для символічних понять:

$$sim(f_1, f_2) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } f_1 = f_2 \\ 0, & \text{якщо } f_1 \neq f_2 \end{cases} \quad (3.1)$$

Для лінійних понять:

$$sim(f_1, f_2) = 1 - \left| \frac{f_1 - f_2}{\max - \min} \right| \quad (3.2)$$

Відповідно до цих локальних показників, які визначені для кожного параметру ускладнення, загальний показник подібності обчислюється як середньозважене подібне, при цьому визначається вага параметрів згідно до їх відповідності проблемі. Рис. 3.4 визначення подібності в два етапи.

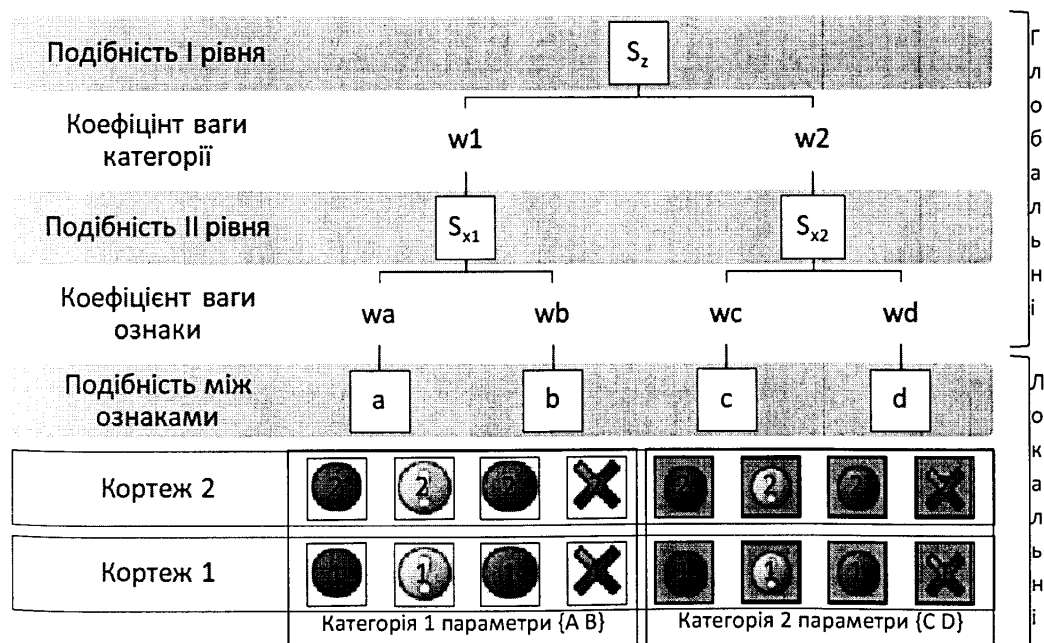


Рис. 3.4. Дворівневе визначення подібності за допомогою локальних та глобальних параметрів

В даному представлені є можливим отримання параметрів технологічного процесу для одного з чотирьох класів випадків. Характеристика А та В розглядалася для ускладнень категорії 1. Так само категорія 2 складалася з двох ознак С та D. Категорія 1 та категорія 2 є репрезентативними для описових розділів, як показано у структурі ускладнення.

У модифікованому методі, пропонується передбачення коефіцієнтів важливості параметрів об'єкта відповідно до експертних знань чи на вимогу експерта.

Для оцінки загальної подібності між двома випадками подібність між ознаками визначається за допомогою лінійних або семантичних мір.  $w_1$  та  $w_2$  показують вплив кожної категорії на остаточну подібність. Наступні рівняння обчислюють подібність двох випадків різних категорій, випадку 1 та випадку 2.

$$S_{x1} = \frac{(wa \times a + wb \times b)}{(wa + wb)} \quad (3.3)$$

$$S_{x2} = \frac{(wc \times c + wd \times d)}{(wc + wd)} \quad (3.4)$$

$$S_z = \frac{(S_{x1} \times w1 + S_{x2} \times w2)}{(w1 + w2)} \quad (3.5)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  і  $d$  є репрезентативними параметрами подібні між двома ознаками. Ваги позначаються « $w$ », а  $S_z$  - це загальна подібність між двома випадками.

При роботі з неповною інформацією у вихідних даних, у разі відсутності значень параметрів процесу буріння в описі прецеденту передбачається, що за даними параметрами прецедент і поточна ситуація збігаються, а параметри з відсутніми значеннями не є важливими для даного прецеденту. А в разі відсутності значень параметрів в описі поточної ситуації передбачається, що за даними параметрами прецедент і поточна ситуація не збігаються.

Алгоритми знаходження подібного прецедентів використовують різні метрики для визначення ступеня подібності (ідентифікації) прецедентів з БП системи і поточною проблемною ситуацією.

Вхідними даними є поточна ситуація  $T$  (тобто повинні бути задані числові значення параметрів, що описують ситуацію),  $CL$  - непорожня нескінченність прецедентів, що зберігається в БП,  $w_1, \dots, w_n$  - ваги (коефіцієнти важливості) параметрів,  $m$  - кількість розглянутих прецедентів з БП і граничне значення ступеня подібності  $n$ .

Вихідними даними є множина прецедентів  $SC$  (Set of Cases), які мають ступінь подібності більше або рівне граничного значення  $N$ .

Проміжні дані: Допоміжні змінні  $i, j$  (параметри циклу).

Крок 1.  $SC = \emptyset, j = 1$ ; перехід до наступного кроку.

Крок 2. Якщо  $j \leq m$ , то вибрати прецедент  $C_j$  з БП ( $C_j \in CL$ ) і перехід до кроку 3; інакше вважати, що все прецеденти з БП розглянуті і перехід до кроку 6.

Крок 3. Обчислити відстань  $d_{C_j T}$  в евклідовій метриці між обраним прецедентом  $C_j$  і поточною ситуацією  $T$  з урахуванням коефіцієнтів важливості параметрів:

$$d_{C_j T} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i (x_i^{C_j} - x_i^T))^2} \quad (3.7)$$

Якщо значення параметра  $x_i^{C_j}$  в описі прецеденту  $C_j$  відсутні, то обчислити відстані  $d_{C_j T}$ , враховуючи, що  $x_i^{C_j} = x_i^T$ , а якщо не вказане значення параметра  $x_i^T$  в описі поточної ситуації  $T$ , то обчислити відстань  $d_{C_j T}$ , вважаючи

$$x_i^T = \begin{cases} x_i^{\text{поч}}, & \text{якщо } (x_i^C - x_i^{\text{поч}}) > (x_i^{\text{кін}} - x_i^C); \\ x_i^{\text{кін}}, & \text{якщо } (x_i^C - x_i^{\text{поч}}) > (x_i^{\text{кін}} - x_i^C); \end{cases} \quad (3.8)$$

Перехід до кроку 4.

Крок 4. Обчислити ступінь подібності

$$(C_j, T) = 1 - \frac{d_{C_j T}}{d_{\max}} \quad \text{або} \quad S(C_j, T) = 1 - d_{C_j T} d_{\max}^{-1} * 100\%, \quad (3.9)$$

якщо граничне значення  $N$  задано в процентах, враховуючи при обчисленні  $d_{\max}$  ваги параметрів; перехід до кроку 5.

Крок 5. Якщо,  $S(C_j, T) \geq N$ , то вибрати прецедент  $C_j$  з БП і додати в результуюче в множину  $SC$ ; присвоїти  $j = j + 1$  і перехід до кроку 2.

Крок 6. Якщо  $SC \neq \emptyset$ , то прецеденти для поточної ситуації успішно знайдені, видати їх список користувачеві і перехід кроку 7. Інакше, якщо  $SC = \emptyset$  і прецеденти для поточної проблемної ситуації не знайдені, видати повідомлення користувачу про необхідність зменшення граничного значення  $N$  і перехід до кроку 7.

Крок 7. Кінець алгоритму. Знайдені прецеденти можуть бути впорядковані за спаданням значень їх ступенів подібності з поточною ситуацією і видані користувачу, який може з урахуванням власних міркувань вибрати найбільш підходящі прецеденти і на їх основі отримати рішення (діагноз і рекомендації) для поточної проблемної ситуації. Для обчислення відстані на кроці 3 можуть бути використані і інші з розглянутих метрик, вибір яких робиться з урахуванням специфіки проблемної області.

Алгоритм, що працює з символічними значеннями параметрів в описі прецедентів і проблемної ситуації, відрізняється від розглянутого алгоритму тим, що на кроці 3 визначається не відстань між прецедентом і поточною ситуацією, а кількість параметрів  $n_{CjT}$ , значення яких у прецеденту і поточної ситуації збігаються. Перед виконанням обчислень значення  $n_{CjT}$  потрібно обнулити ( $n_{CjT} = 0$ ). Крім того, для обліку коефіцієнтів важливості при збігу значень параметрів значення  $n_{CjT}$  збільшується не на одиницю, а на  $w_i$ . У разі відсутності значення параметра  $x_i^{Cj}$  в описі прецеденту  $C_j$  передбачається, що  $x_i^{Cj} = x_i^T$ , і  $n_{CjT}$  збільшується на  $w_i$ , а в разі відсутності значення параметра  $x_i^T$  в описі поточної ситуації  $T$ , передбачається, що  $x_i^T \neq x_i^{Cj}$  і значення  $n_{CjT}$  не змінюється. Далі на кроці 4 обчислюється міра подібності

$$S(C_j, T) = \frac{n_{CjT}}{w_i} \quad (\text{або у відсотках } S(C_j, T) = \frac{n_{CjT}}{w_i} * 100\%,) \quad (3.10)$$

решта кроки алгоритму залишаються без змін. Необхідно відзначити, що в алгоритмах вилучення прецедентів для обліку коефіцієнтів важливості параметрів може виконуватися попередній етап (крок 0) для коригування значень меж діапазонів параметрів і самих параметрів, що виключає необхідність в подальшому обліку коефіцієнтів важливості при добуванні прецедентів.

Використання різних алгоритмів вилучення прецедентів в ІСППР РВ реалізує більш гнучку роботу методів на основі прецедентів, так як у особи, що приймає рішення з'являється можливість розглянути різні підходи для вилучення прецедентів з БП системи, що забезпечує вибір більш адекватного рішення, що відповідає всій специфіці ускладнення в процесі буріння. Ідентифікація випадку з відомими прецедентами на основі моделей міркувань дає можливість підвищити ефективність пошуку.

### **3.3. Напрямки та проблеми, що стосуються впровадженню інтелектуальної автоматизації**

Однією з найбільших перешкод для інтелектуальної автоматизації є недостатньо зрозумілі процеси, а відповідно відсутність детальних моделей процесів для існуючих процесів, які є специфічними для галузі. Без такої моделі дуже важко застосувати будь-яку інженерію прикладних програм, не кажучи вже про комп'ютерну автоматизацію. Розробка інтелектуальної системи контролю та оптимізації нагляду та її впровадження в загальну архітектуру СІМ вимагає абстрактної моделі технологічної технології та топології, а також технології управління. Важливо знати, чи існує мертвий час, і де він існує, і мати точні описи базової динаміки для кожного з окремих компонентів процесу та загальної системи процесів. Без цієї моделі застосування передових технологій управління стає неможливим або, щонайменше, переважно важким.

Визначення особливостей властивих нафтогазовій галузі, необхідні для врахування для створення систем управління технологічними процесами та при будівництві свердловин. Технологічні процеси безперервні, а об'єкти важкі та затребувані на рівні управління, виконуючи синергетичні дослідження. Об'єкти видобутку нафти і газу є технологічно небезпечними, тому роль безпеки систем та екологічного моніторингу є значною. Початкова інформація, якою володіє, характеризується високим рівнем невизначеності, породженим природними факторами.

Ефективним підходом застосування засобів штучного інтелекту, концепцій, прийомів є створення бази знань, яка контролює дані процесу та отримує все більш точний та поточний опис основних виробничих процесів. Цей об'єкт є цінний, лише як функція підтримки цілей автоматизації, і, зокрема, надзвичайно важливий як частина будь-якого іншого інтелектуального додатку, такого як статистичне управління процесами, моделювання, контрольний контроль, оптимізація. Цю можливість можна розглядати як інтелектуальне середовище моделювання, яке здатне працювати виключно в автоматичному режимі та використовувати реальні дані про процес для побудови оптимальної моделі, яка може відтворювати дані про ситуацію, а також пропонувати майбутні дії.

База знань повинна містити логіку оптимізації, що дозволяє описувати не тільки моделі, що відповідають даним, але й ті, що характеризують процес з точки зору різних цілей автоматизації. База знань інтелектуальної системи моделювання процесів містить такі можливості:

- статистичні знання;
- динамічні знання;
- першопричини;
- конструктор зв'язків;
- конструктор правил;
- визначник об'єкта;
- цілі та завдання моделювання процесів;
- засіб визначення обмежень;
- перевірка даних;
- аналіз історії процесів;
- заздалегідь визначені об'єкти процесу;
- заздалегідь визначені правила процесу.

Компонент аналітичного моделювання бази знань призведе до таких моделей, як оптимальні описи простору станів для базової динаміки. Можливість евристичного моделювання буде спрямована на ідентифікацію логіки, пов'язаної з процесом, і автоматично будувати правила, взаємозв'язки, обмеження та

об'єкти, необхідні для створення загального опису процесу з високою роздільною здатністю.

Проблеми моделювання нафтогазових систем слід розглядати на двох рівнях: проблеми управління технологічним процесом з урахуванням особливостей видобутку нафти і газу та проблеми моніторингу та прогнозування інтегрованих показників, що забезпечують безпечний та конкурентоспроможний розвиток підприємств НГС.

Таким чином, системна невизначеність, властива нафтогазовим технологіям через специфіку досліджуваних об'єктів, призводить до необхідності моделювання нафтогазових систем, метою яких є управління ризиками на всіх рівнях ієрархії та усі стадії життєвого циклу.

Поставлені проблеми є досить складними через складність систем, що вивчаються, робота яких явно нелінійна.

Технології еволюційного моделювання, яку часто називають синергетичним аналізом (з теорією нелінійних систем та процесами самоорганізації, детермінованим хаосом, фрактальним аналізом тощо) значно розширило можливості досліджень природної невизначеності буріння нафтогазових свердловин.

Імовірнісне моделювання, моделі оцінок та ідентифікацій, широко та успішно застосовується для вирішення проблем управління технологічним процесом. Будь-який процес є повторюваною послідовністю витрат часу та ресурсів для отримання результатів у всіх сферах використання. З точки зору ймовірності, моменти для будь-якої діяльності, що починається і закінчується, є випадковими подіями на часовій шкалі. Застосування моделей дозволяє раціонально управляти ризиками, підвищувати якість і безпеку нафтогазових систем і за рахунок них бути успішними на ринку.

Результати імовірнісного моделювання показали, що необхідна щільність становить близько 0,02%, тобто 2 дефекти (аномалії) на 10000 випадків. До того ж доцільно зауважити, що оскільки щільність дефектів близько 1%, ймовірність міцності стабілізується на рівні 0,88.

На практиці застосування запропонованої моделі та методу дозволяє замовнику сформулювати більш обґрунтовані вимоги та технічні вимоги, розробнику впровадити їх раціонально, не витрачаючи витрачених коштів, а користувачеві максимально ефективно використовувати потенціал системи [70].

Разом із її більш традиційними можливостями моделювання на основі знань, успішність системи визначається включенням засобів навчання.

Однією з великих вимог, а також одним із потенціалів штучного інтелекту є здатність будувати системи, які можуть навчитися.

Існує чотири методи, за допомогою яких можна отримати експертну систему, яка моделює характеристики навчання - це статистична, алгоритмічна, дослідницька та аналогія.

Більшість проблем у реальному світі неможливо повністю моделювати детермінованою логікою. Ймовірності та статистичне формулювання є ключовими для вирішення багатьох вертикальних ринкових областей. Важливим прийомом, який можна зафіксувати в базі знань, є здатність навчатись статистично у своїх декларативних процесуальних поданнях. Чим більше працює база знань, тим краще має бути власне представлення випадкових процесів. експертна система має знання статистичних методів із гнучким поданням, що дозволяє їй постійно змінювати ключові параметри та розподіли.

Алгоритм зазвичай не має аналітичного характеру закритої форми, але є важливим аспектом, за допомогою якого можна було б вирішити проблему, засобами поєднання з традиційними та евристичними методами. Алгоритм знає, як і коли слід починати вирішувати проблему, як продовжувати її вирішення, а також коли закінчити і дати відповідь.

Якщо контроль робиться явним, на відміну від неявного в базі знань і належним чином підтримується представленням класу знань у декларативному компоненті та формулюванні набору правил у процедурному компоненті, створюється основа для алгоритмічного навчання експертної системи. Алгоритмічне навчання бази знань на низькому рівні здійснюється шляхом



використання бібліотек, які можна використовувати реалізуючи рішення на мові Python, а також правил, які зазначені в процедурному компоненті бази знань.

Ключем до здатності вчитися є здатність експертної системи досліджувати альтернативи. Завжди існують обмеження у часі для вирішення проблеми. Однак у будь-який час може бути найкращий метод, який експертна система використовуватиме для ефективного виведення рішення. Поряд з цим експертна система використовує гіпотетичні міркування для вивчення кращих стратегій вирішення поставленої проблеми. На основі цього дослідження експертна система повинна мати можливість модифікувати себе в статистичному та алгоритмічному сенсі.

Важливим способом засвоєння експертною системою є можливість переоцінити минулі проблеми, збільшивши кількість досліджень, пов'язаних з їх вирішенням. Аналогія - це дуже очевидна техніка для досягнення мети навчання в базі знань. Експертна система повинна мати можливість каталогізувати можливі випадки проблеми, яку вона призначена вирішити. Ці випадки проблеми повинні бути представлені разом із атрибутами, які чітко окреслюють важливий ключові характеристики. Алгоритмічне рішення задачі містить компонент, який, відповідає характеристикам конкретного екземпляра задачі за допомогою методології оптимізованого рішення. При розробці системи за цим напрямком, база знань стає компетентнішою за рахунок великої кількості аналогій. Більше того, зазвичай існує центральна тенденція до вирішення будь-якої проблеми. Ця центральна тенденція може вирішити 70, 80 або 90 відсотків конкретних випадків виникнення проблем. Однак, з усіма проблемами реального світу, завжди існують граничні випадки, які не можуть бути адекватно вирішеними центральною тенденцією. Опис цих граничних випадків засобами міркувань на основі знань та вивчення нових аналогів може призвести до того, що експертна система поступово вдосконалює свою точність при обробці всіх випадків у обговорюваній проблемі.

Дані та технології, необхідні для глибокого навчання в промисловій сфері, сильно відрізняються від даних, що застосовуються в системах на основі ШІ.

Порівняно з цим, в промисловій площині аналізуються різноманітні дані, які постійно збираються у часових рядах від фактичного обладнання, машини тощо через датчики та камери. Поглиблене навчання використовується в виробництві для оптимізації технологічних процесів, для стабільної роботи енергетичних та транспортних систем, а також для зупинки системи в аварійних ситуаціях. У цих компонентах найважливішими проблемами будуть надійність та терміновість. Це означає, що як кількість, так і якість даних є критичними вимогами при глибокому навчанні. Найважливішими елементами, які є дуже важливими для глибокого навчання, будуть виявлення справді необхідних даних та збір якісних та точних надійних даних.

Основною вимогою технології експертних систем є її здатність обґрунтовувати та пояснювати свої процеси мислення після досягнення розумного рішення. Потрібна здатність передбачити, з точки зору програми, ті ключові питання та звіти, які можна задати під час вирішення певної проблеми.

Метод побудови обґрунтування та пояснення передбачає розробку декларативного набору знань поданих в класі знань, побудову набору правил для обґрунтування та пояснення для обслуговування запитів.

Питання цілісної інтеграції можливостей ІСК з використанням технологій знань та експертних систем при управлінні технологічними процесами нафтогазової галузі є критично важливою. Більшість систем середнього та великого масштабу вимагають інтеграції з існуючими даними, а також традиційними процедурними конструкціями. Вимоги до інтеграції зазвичай не є поверхневими і вимагають тонкого поєднання евристичних можливостей із традиційними обчислювальними методами. Це не тривіальна справа, якщо щільно скласти багато реляційних баз даних із базою знань у значущий спосіб.

Стабільна архітектура зберігання як власний компонент середовища бази знань: це вимога. Вміння міркувати надзвичайно ефективно, маючи можливість експертної системи, тобто продуктивно є також ключовим фактором. Ще однією вимогою є здатність підтримувати безліч різних парадигм міркувань. Ця здатність стає необхідною під час виникнення складних проблем реального світу, що

потребують глибокі знання. Можливість багаторазового використання знань і для ретельного контролю над змістом, формою та функціональністю цих знань формують в цьому класі проблем вимогу забезпечення багатокористувацького доступу, контролю транзакцій, ведення журналу, відновлення та розподілення доступу до даних.

Використання технології реляційних баз даних та тісного зв'язування її з об'єктно-орієнтованою технологією створює основу для автоматичної генерації користувацьких інтерфейсів. Інженерно-технічне середовище повинно бути здатним створювати інтерфейс. Середню або велику систему не можна ввести в реальне середовище як острів автоматизації. Це має бути тонко і природно вбудовано в загальну обчислювальну структуру та філософію. Без середовища інженерії знань, що має вищезазначені характеристики, побудова інтелектуальних інтегрованих рішень середнього та великого масштабу не стане широкомасштабною промисловою реальністю. Зі стандартними пропозиціями продуктів, які відповідають вищезазначеним вимогам, швидко настане світанок нового часу інтелектуальної автоматизації.

### **3.4. Математичне забезпечення створення імітаційних моделей засобами симуляції**

Підхід, що лежить в основі ШІ, полягає в тому, щоб спочатку зібрати якомога більший обсяг даних для підвищення точності висновків. Можливим підходом для заповнення пробілів у базі даних або модифікації невідповідних даних є використання моделювання. У моделях відтворюються основні характеристики реального технологічного процесу з метою його вивчення. Фізичне моделювання базується на теорії подібності при розгляді можливості повного використання. Дослідження процесу проводять на моделях, результати досліджень екстраполюють на реальних об'єктах. Математичне моделювання засноване на строгому аналітичному дослідженні в залежності від вихідних даних. При прогнозі потрібно знати зміну зовнішніх впливів, щоб отримати

нормативний прогноз. Ряд таких прогнозів за принципом "якщо – то" представляють сценарії майбутнього, і експертам пропонується вибрати той із сценаріїв, який у більшій мірі відповідає задачам поставленим перед системою підтримки та прийняття рішень. Послідовність дій визначається, виходячи з припущення про те, що процес має стандартний хід. Нормативні прогнози часто приймають вид нормативних сценаріїв, кожен з яких відповідає одному з варіантів зміни керуючих дій оператора, якій приймає рішення. Різні підходи до прогнозування відрізняються залежно від обсягу необхідної для прогнозу апіорної інформації про об'єкт дослідження, про змінні та невизначені характеристики, про стан та зміну середовища. При підході визначення взаємозв'язку параметрів буріння передбачається, що вся інформація вже є або може бути отримана з достатньою точністю. Результати моделювання мають значення за умови, якщо модель відповідає реальному об'єкту (процесу), з достатнім рівнем точності відображає реальний хід технологічного процесу буріння. Специфіка імітаційного моделювання як методу дослідження включається в том, що метод робить можливим при проведенні комп'ютерних експериментів дослідити необхідні передумови, впливи та значення параметрів буріння.

Розробка імітаційних моделей дозволяє освоїти різні методи імітаційного моделювання, кожен з яких має свої особливості застосування, визначити вимоги до вхідних даних та типів отриманих результатів на виході [71].

Основою функціонування тренажерів є імітаційні моделі. Такі моделі будуються на основі знань експертів, представлених у вигляді таблиць і графіків. Метою використання моделювання при оцінці ризиків виявлення ускладнень, є визначення очікуваного часу закінчення фази буріння за змінними, що впливають на результативність проекту, в результаті чого визначається його середній або очікуваний час. Різні набори значень параметрів і показників стану відповідають різним станам технологічного процесу. Налаштування імітаційних моделей за даними функціонування технологічного об'єкта та ідентифікація вхідних параметрів моделей мають важливе значення в дослідженні. Модель завжди

відтворює поведінку об'єкта з тією або іншою точністю, оскільки структура об'єкта, як правило, точно не відома. При створенні моделі часто доводиться вдаватися до спрощень. Точність імітаційної моделі ТП передбачає повноту, адекватність статичній і динамічній поведінці моделі реальному ТП. Адекватність відображає кількісну близькість параметрів моделі до відповідних параметрів об'єкта в різних режимах. Сучасні технології дозволяють досягати точності 5% для критичних і 10% для некритичних параметрів в статичних режимах при прискоренні моделювання до п'яти разів [72].

Таким чином, застосування високоорганізованих АСУ не виключає, а висуває підвищені вимоги до моделей створених засобами симуляції, що використовуються для навчання системи для оптимального управління технологічним процесом. База імітаційних моделей процесу буріння заснована на принципах теорії навчання розпізнаванню образів. Основна складність при її реалізації складається в розробці математичного і програмного забезпечення.

Для аналітичного моделювання характерно те, що процес функціонування елементів системи описується у вигляді деяких функціональних співвідношень (алгебраїчних, диференціальних) або логічних умов. Завдання імітаційного управління вирішується як завдання побудови математичної моделі об'єкта управління на підставі передового досвіду оператора. При імітаційному моделюванні імітуються елементарні явища, що становлять технологічний процес буріння, зі збереженням їх логічної структури і послідовності протікання в часі. Створення моделей засобами симуляції дозволяє імітувати більш складні випадки, враховується наявність дискретних і безперервних елементів, нелінійні характеристики елементів системи, численні випадкові фактори, що характерно для такого невизначеного процесу як буріння. Математичні моделі процесу буріння створені засобами тренажеру Drillsim5000 працюють в діалоговому режимі, що допускає введення в них по ходу процесу необхідних управляючих впливів, що здійснюються при управлінні реальними процесами.

Нехай задана сітка часу  $T = \{t_i\}_{i=0}^n$ , а динаміка даної імітаційної моделі описується системою рівнянь виду

$$\begin{cases} x_{i+1} = f_i(x_i, u_i; \beta) \\ y_i = g(x_i) \end{cases} \quad (3.11)$$

де  $x_i = (x_i^{(l)}, \dots, x_i^{(r)})$ ,  $y_i = (y_i^{(l)}, \dots, y_i^{(s)})$  і  $u_i$  - значення вектору стану моделі, вектору виходів, і вектору керування, відповідно, в момент часу  $t_i$ ,  $\beta$  - вектор параметрів моделі що адаптується. Послідовність  $U = \{u_i\}_{i=0}^n$  є керуючою послідовністю. Якщо в момент  $t_0$  модель знаходиться в стаціонарному стані, яке відповідає значенням  $u(t) = u_0, t \leq t_0$ , то значення  $y_i$  залежать тільки від послідовності  $U$  і від вектора параметрів:

$$y_i = y_i(U; \beta) \quad (3.12)$$

Послідовність значень виходів моделі  $Y(U; \beta) = \{y_i(U; \beta)\}_{i=0}^n$  тобто відгук моделі на керуючу послідовність  $U$ . Аналогічно визначаються вектор виходів об'єкта  $z_i(U) = (z_i^{(l)}(U), \dots, z_i^{(s)}(U))$  і відгук об'єкта  $Z(U) = \{z_i(U)\}_{i=0}^n$ . В якості критерію близькості моделі і об'єкта можна використовувати квадратичну функцію втрат:

$$C(U, \beta, W) = E_{eq}(Z(U), Y(U; \beta), W) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^s w_i^{(j)} \cdot (z_i^{(j)}(U) - y_i^{(j)}(U; \beta))^2 \quad (3.13),$$

де  $w_i^{(j)}$  - елементи матриці ваг  $W \in R^{s \times n}$ . Таким чином, отримуємо задачу мінімізації:

$$\hat{\beta}(U, W) = \arg \min_{\beta} C(U, \beta, W) \quad (3.14),$$

Замість об'єкта, проведення експериментів на якому потенційно небезпечно і затратно, використовується імітаційна модель того ж процесу, можливі, структурні відмінності від моделі, адаптація якої необхідна. Така еталонна модель є об'єктом дослідження.

Перевірка адекватності моделі при значеннях параметрів, отриманих при різних вибірках є перехресною і полягає в наступному - є безліч керуючих послідовностей  $D_s = \{U_i\}_{i=0}^n \subset D$ , де  $D$  - безліч всіх керуючих послідовностей, при яких модель повинна бути адекватна, і відповідні їм знайдені значення параметрів  $\hat{\beta}_i = P(U_i, Z(U_i))$ .

В якості найкращого значення вектору параметрів можна вибрати

$$\beta = \hat{\beta}_m, m = \arg \min_j \max_i C(U_i, \hat{\beta}_i, W) \quad (3.15).$$

У даній роботі розглядається простий випадок ідентифікації скалярного параметра - ефективності буріння в аспекті затрат часу, передбачається, що не має будь-якої апіорної інформацією про залежність виходів моделі від цього параметра. У цьому випадку найбільш ефективними є одномірні методи нульового порядку. У запропонованій реалізації методу ідентифікації використаний метод золотого перетину, так як серед інших методів свого класу він знаходить рішення із заданою точністю з найменшою кількістю обчислень значень оптимізується функції. Для контролю адекватності моделі застосовувалася перехресна перевірка для двох керуючих послідовностей.

Для перевірки працездатності запропонованого методу, обраного алгоритму ідентифікації та виявлення меж їх застосування, а також впливу різних умов функціонування ТП на роботу методу були проведені кілька серій експериментів. У кожному експерименті використовувалися по дві керуючі вибірки  $U_1$  і  $U_2$  з відповідними їм відгуками  $Z(U_1)$  і  $Z(U_2)$ . Експеримент проводився в дві фази. У першій фазі визначення параметра  $\beta$  - навчання - проводилося на першій вибірці  $U_1$ , а перевірка якості отриманої моделі - іспит - на вибірці  $U_2$ . У другій фазі вибірки мінялися місцями. Оптимальне значення  $\beta$  вибиралося відповідно до співвідношеннями

Створені до тепер експертні системи моделювали хід прийняття рішень експертом як виключно дедуктивний процес із використанням логічного висновку, заснованого на правилах. В аналізі сучасних методів прогнозування та прийняття рішень можна виокремити принцип повторного використання вже прийнятих рішень в аналогічних випадках, безпосередньо використовуючи ці рішення, або, за необхідності, адаптуючи з врахуванням специфічних факторів для конкретного випадку. Прийняття рішень заснованих на прецедентах з реальної практики має ряд переваг з порівнянням з рішеннями прийнятими на основі на правил. Таким чином, рішення на конкретних випадках, представляє собою метод побудови експертної системи, який пропонує рішення щодо

ускладнення або ситуації за результатами пошуку аналогій, що зберігаються в базі прецедентів, опираючись на історичні дані, не створюючи моделі чи правила. В таких системах виникає проблема ідентифікації випадку з прецедентом та адаптації знайдених рішень. Тому наведені проблеми можна зменшити поєднання методів фізичного та математичного моделювання, які дозволяють засобами моделювання підвищити ефективність системи. Відповідно до вищевикладеного, база змодельованих випадків, що формується засобами прямого комп'ютерного моделювання повинна бути багатоцільовою. На етапі предтренажерної підготовки база змодельованих випадків є перехідною ланкою від теорії до практики, вона забезпечує закріплення необхідного теоретичного мінімуму та, на основі численних експериментів потенційно небезпечних процесів забезпечує високий рівень готовності оперативного персоналу до прийняття рішень в непередбачених регламентом ситуаціях і випадках. Крім того є базою для самостійної роботи з підтримки високого рівня розуміння динаміки процесів операторами протягом всього терміну їх професійної діяльності. У зв'язку з цим, при створенні бази в ній включені не тільки випадки, що моделюють потенційно небезпечні процеси, але і випадки, що забезпечують підтримку необхідного теоретичного рівня.

### **3.5. Розширення підходів до міркувань**

Згідно поданої схеми (див.рис.2.11) CBR, складається з чотирьох етапів, тобто пошук, адаптація, повторне використання, збереження. CBR здатний використовувати конкретні знання раніше досвідчених, конкретних проблемних ситуацій (випадків, прецедентів). Основними завданнями при виборі методу міркувань, що базуються на конкретних випадках, є виявлення поточної проблемної ситуації, пошук прецеденту, подібного до нового, використання цього випадку, щоб запропонувати рішення поточної проблеми, оцінити запропоноване рішення та оновити систему, навчаючись на цьому досвіді [11].

Найважливіше джерело досвіду для вирішення проблем буріння - це минулі випадки. Бурильники зазвичай міркують на основі прецедентів, що траплялися в



минулому, і намагаються знайти найбільш відповідний і подібний. За базу дослідження взято 94 випадки з нафтових свердловин у ПАТ «Укрнафта» (див. Додаток В). Усі особливості ускладнень були визначені у співпраці з досвідченими інженерами. Крім цього джерела знань при створенні моделей оптимізації, ефективним стало додаткове використання змодельованих загальних знань галузі засобами симулятора Drillsim5000.

Вимірювання лінійної та прямої символічної подібності використовуються для збігу випадків у межах платформи CBR. Непряме вимірювання символічної подібності є частиною оцінки подібності у двох розширених системах CBR.

Загально подібність обчислюється за наступним рівнянням.

$$sim(C_{IN}, C_{RE}) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m sim(f_i, f_j) \times \text{відповідність параметра } f_j}{\sum_{j=1}^m \text{відповідність параметра } f_j} \quad (3.16)$$

$C_{IN}$  та  $C_{RE}$  - це вхідні та отримані ускладнення,

$n$  - кількість випадків у  $C_{IN}$ ,

$m$  - кількість висновків в  $C_{RE}$ ,

$f_i$  - це  $i$ -те знаходження в  $C_{IN}$ ,

$f_j$  -  $j$ -та знаходження в  $C_{RE}$ , а

$sim(f_i, f_j)$  коефіцієнт релевантності, число, яке представляє вагу ознаки для збереженого випадку. Коефіцієнт релевантності кожної ознаки визначався відповідно до важливості ознаки для опису ускладнення.

Модель на основі міркувань є семантичною моделлю взаємозв'язаних сутностей. Усі особливості випадку представлені як сутності в цій моделі, що працює шляхом пошуку шляхів причинно-наслідкових зв'язків від суб'єктів, що представляють рішення щодо усунення ускладнення в одному випадку, до об'єктів, що представляють рішення ускладнення в іншому. Для визначення правильності шляху міркувань використовується правдоподібне успадкування. Цей метод є узагальненням звичайного успадкування підкласу, що дозволяє успадкувати зв'язки за іншими типами зв'язків, ніж "підклас" зв'язків. Правдоподібне успадкування регулюється набором правил, що декларують, які

типи зв'язків можуть успадковуватись над якими типами зв'язків. У цій роботі причинно-наслідкові зв'язки є транзитивними, і будь-які зв'язки можуть успадковуватися за „підкласом“ зв'язків. Це визначено таким чином, що, наприклад, шлях "А викликає В викликає С підклас D викликає Е" є законним шляхом від А до Е, але "А викликає В, спричинений С" та "А підклас В має підклас С" ні. Припустимо, що існує правильний шлях міркувань від висновку нерозв'язаної справи, пов'язаний з іншим висновком вирішеної справи. Рівень подібності є добутком рівня подібності кожного відношення, що з'єднує ці два висновки [7]:

$$\text{Рівень подібності} = \prod_{i=1}^n \text{рівень подібності зв'язків} \quad (3.17),$$

де  $n$  - кількість послідовних зв'язків. Іноді між цими висновками існує не один пояснювальний шлях міркувань. Загальний рівень пояснення, що пов'язує ці два висновки, визначається за допомогою рівняння.

$$\text{Рівень пояснення} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \text{рівень подібності } i) \quad (3.18)$$

Онтологія описана на символічному рівні, а концепції стосовно параметрів технологічного процесу буріння визначають систему, засновану на моделі. Найпростіша модель використовується для отримання найбільш подібних прецедентів, не інтегруючи його з міркуваннями на основі конкретних випадків. Ця система використовується при визначенні першопричин відхилень в технологічному процесі.

Модель CBR підкріплена великою кількістю випадків створених засобами симуляції досягає своєї мети міркувань завдяки сукупності попередніх випадків у поєднанні з деяким іншим джерелом знань про певний випадок [13]. База знань формується з різних джерел: прецеденти, технічні довідники та науково-технічна література. Знання мають різну ступінь абстракції - це «конкретні» правила, що описують залежності на рівні примірників предметних класів, і «узагальнені» правила, що описують залежності на рівні предметних класів. Наявність «узагальнених» правил дозволяє знаходити рішення в тих ситуаціях, коли відсутні «конкретні» правила в базі знань, дозволяючи виділити

цільовий клас понять. В першу чергу в роботі база знань основана на досвіді експертів, але також враховано емпіричні знання та результати експериментальних досліджень.

Такий підхід CBR поєднує простий CBR та знання, засновані на моделях міркувань, для покращення визначення подібності. У методі наукомісткого CBR кожен змодельований випадок, що взято за основу розширюється додаванням в якості ознак випадку параметрів у моделі, для яких існує зв'язок від існуючого параметру до випадку. Вага параметру визначається на основі взаємозв'язку параметрів, що взаємодіють. Вхідний реєстр розширюється, що дозволяє ідентифікувати подію серед випадків із різними параметрами однієї і тієї ж основної проблеми.

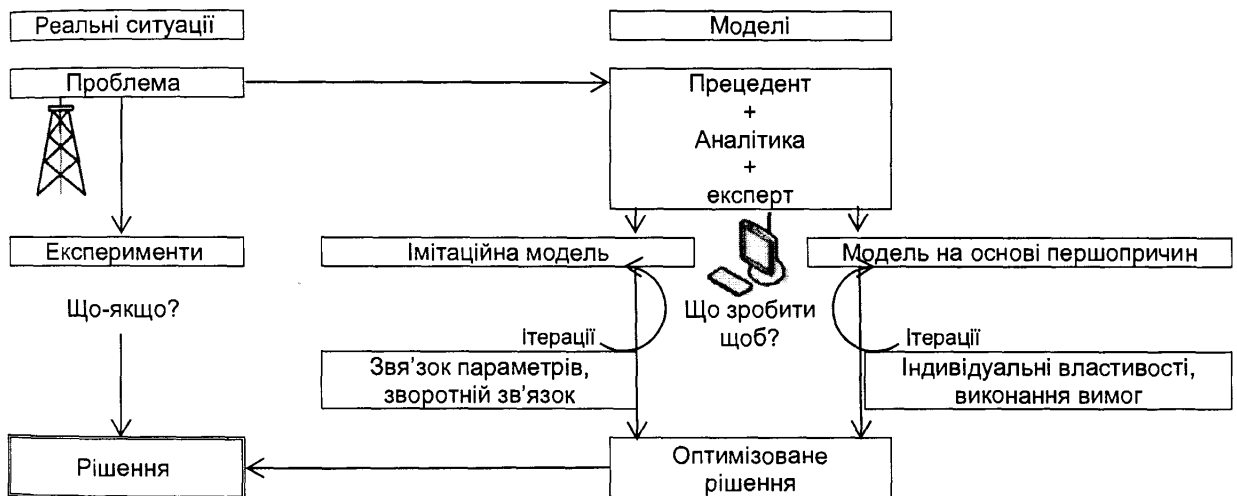


Рис. 3.5. Логіка розв'язку проблем буріння з застосуванням розширення методу CBR

Така система для наукомісткого вирішення проблем та навчання, спрямованих на вирішення проблем у областях з високою невизначеністю як буріння передбачає архітектуру у вигляді модулів, інтегрованих у загальну концептуальну основу: Загальна модель домену (рис. 3.5). Кожен модуль представляє певну підмодель знань. Основними модулями є модель знань на рівні технологічного процесу буріння (сутності реального світу та відносини), модель рівня стратегії (наприклад, модель вирішення проблем діагностики) та дві моделі

обґрунтування мета рівнів, одна для поєднання конкретних випадків та типи міркувань, і один для комбінованих методів навчання.

Інтеграція для вирішення проблем та навчання в одну функціональну архітектуру наведена на рис.3.6.

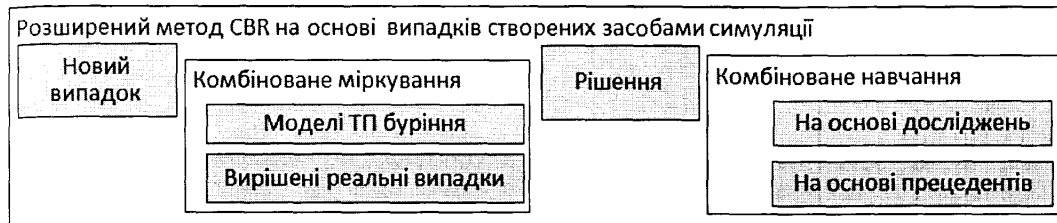


Рис.3.6. Архітектура методу отримання подібного прецеденту за розширеним методом CBR на основі випадків створених засобами симуляції

Другий підхід CBR на відміну від попереднього розширеного CBR, що використовує модель подібного прецеденту засобами симуляції, удосконалений використанням більш цілеспрямованого підходу. Цей підхід розширений визначенням подібності з прецедентами в базі знань знання оцінюючи їх першопричини. Визначаючи рівень подібності для кожного прецеденту, на основі першопричини, виходячи з особливостей ускладнення, модель, матиме високий показник визначення фактичної першопричини ситуації, представленої проблеми. Загальний рівень подібності для кожної цільової проблеми (першопричина) визначається за допомогою рівняння (3.19). Це рівняння є модифікацією рівняння (3.18), що враховує вагу законного шляху.

$$\text{Рівень пояснення} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \text{рівень подібності}_i \times \text{вага альтернативи}) \quad (3.19)$$

де  $m$  - кількість шляхів.

Архітектуру системи отримання подібного прецеденту за розширеним методом CBR наведено на рис 3.7.

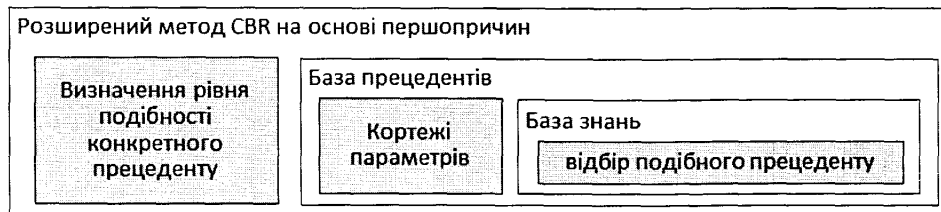


Рис. 3.7. Архітектура методу отримання подібного прецеденту за розширеним методом CBR на основі першопричин

Відповідні параметри класифікуються як основні причини для зазначеної проблеми, яку необхідно вирішити. Це означає, що замість того, щоб розміщувати всі сутності, які з'являються є визначені основні параметри, що відіграють ролі ознак випадку.

Першопричина визначається, виходячи з трьох типів ознак, які безпосередньо представлені у випадках:

прямі спостереження - тобто вимірювання параметрів,

виведені параметри - Тобто значення, отримані з спостережень, та

інтерпретовані дані – тобто конкретні концепції, що описують важливі стани, які потребують особливого усвідомлення чи дії. Ці сутності є частиною онтології, і причинно-наслідкова модель пов'язує їх (можливо, через проміжні параметри) з параметрами, що представляють першопричини.

Це означає, що існує взаємозв'язок параметрів, що за якими визначається причина відхилень технологічного процесу буріння. Використовуючи рівняння (3.17) та рівняння (3.19), визначення першопричини розраховується для кожного випадку в основі випадку. Рис. 3.8 зображує рівень пояснення проблеми в процесі буріння для 94 випадків, що взяті за основу дослідження.

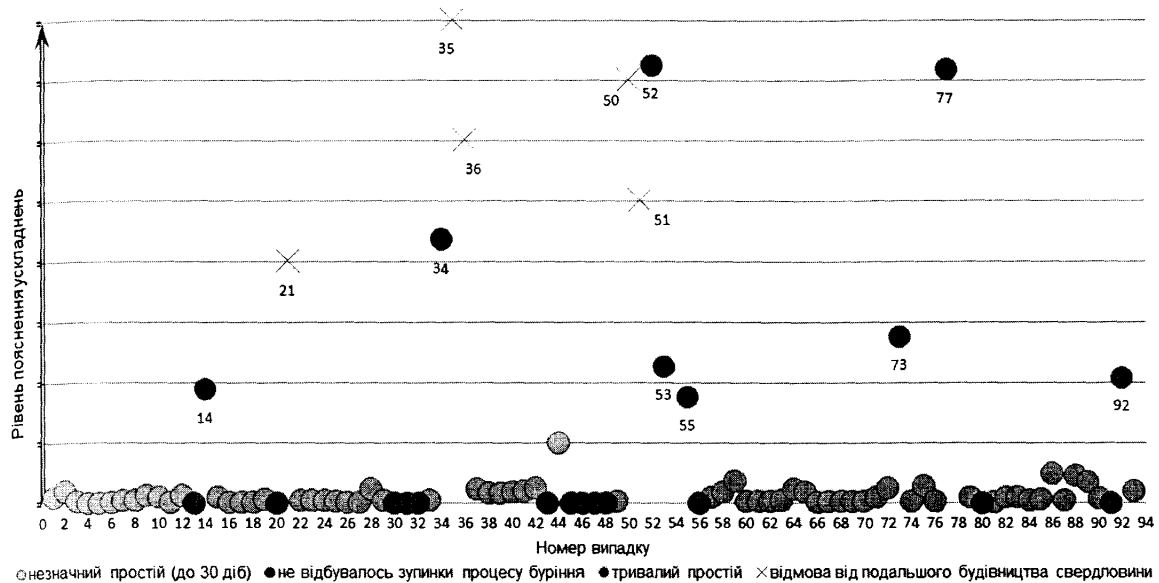


Рис. 3.8. Рівень визначення причин відхилень під час будівництва свердловини на основі розширеної моделі CBR

Результати показали хорошу кореляцію між класифікацією ускладнень та рівнем поясненнями першопричини. Ускладнення класу зі значним простоем або відмовою від розробки свердловин мають вищий рівень пояснення причин проблем для буріння. Для випадків незначного простою рівень визначення нижчий за 35%. Однак рівень пояснення не можна розрізнити для класів значний час простою і відмова від розробки свердловини. Виявлено ще п'ять основних причин, і всі вони дотримуються цієї процедури. По-перше, рівень визначення обчислюється за рівнянням (3.17). Потім обчислення величини рівня визначення причин поєднуються з рівнянням (3.18). Нарешті, рівень пояснення основних причин доповнює особливості випадків ускладнень щодо покращення процесу відповідності проблеми.

Специфічні причини ускладнень змодельовані засобами тренажера також використовуються з метою обґрунтування, такі виявлені причини визначають іншу систему, засновану на моделях.

На рис. 3.9 представлена точність процесу узгодження, визначення подібності випадків двома різними моделями міркувань у порівнянні з міркуванням на основі конкретного минулого досвіду CBR.

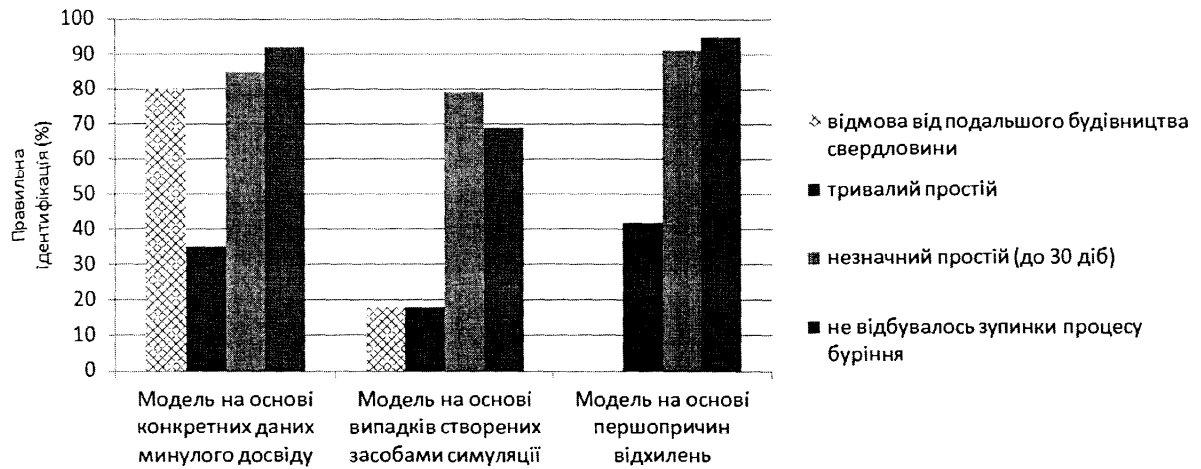


Рис. 3.9. Точність процесу пошуку справи за допомогою простої моделі CBR та двох моделей на основі міркувань

CBR на основі конкретних випадків ефективніше, ніж дві інші моделі. Усі системи отримували майже однакову кількість подібних випадків у класах незначного простою або зміни параметрів буріння без зупинки процесу. Але в класах значного простою та відмови кожен метод мав різні результати з точки зору знаходження подібного випадку. Під час незначного простою та відмови від класів секцій, 18% випадків було виявлено правильно за допомогою системи, що мають в базі знань випадки змодельовані засобами тренажеру.

Модель на основі першопричин правильно ідентифікувала понад 90% подібних випадків за незначних простоїв і коли зупинки процесу не потребувалось та частково випадки класу тривалих простоїв, хоча не вдалося знайти жодного правильного класу відхилень, що призвели до відмови у продовженні процесу. Але загальна кількість випадків, отриманих на основі визначення першопричин, вища, ніж з застосуванням змодельованих випадків.

Як видно з рис. 3.9, кількість правильно отриманих випадків на основі реальних випадків в минулому більша, ніж будь-яка із двох моделей. Найбільшої ефективності можна досягти при поєднанні переваг CBR та моделей на основі міркувань.

94 випадки на основі нафтових свердловин ПАТ "Укрнафта" було класифіковано на основі простою у чотири класи. Для адекватного та чіткого обговорення результатів результати випадки розділено на у дві групи, що відбувся під час буріння та спуску обсадних труб. Розглянуто три методи міркувань на основі знань.

Результати групи 1: Три методи, звичайний CBR, CBR розширений змодельованими випадками та CBR розширений визначенням першопричин, застосовувались щодо класів у групі 1. На рис. 3.10 представлена точність процесу пошуку випадків для різних підходів. Кількість правильно знайдених подібних випадків розширеними методами була різною порівняно із звичайним CBR. У цьому дослідженні звичайний CBR є основою для порівняння між CBR та інтегрованими підходами CBR.



Рис. 3.10. Точність процесу пошуку справи за допомогою різних методів міркування

Із 58 випадків у класі не значних простоїв; 51, 52 та 54 справ були правильно отримані простими CBR, розширеними відповідно. Що стосується другого класу, незначний час простою, розширені системи покращили процес пошуку випадків з 1 правильно ідентифікованого до 2 для обох систем. Однак кількість правильно ідентифікованих випадків для класу відмови подальшого будівництва свердловин була зменшена для CBR на основі змодельованих випадків. Для цього класу метод на основі першопричин є значно кращим (із використанням t-тесту з рівнем значимості 5%), ніж звичайні результати CBR.



узагальнення можливості трьох комбінованих методів міркування та двох методів міркувань на основі моделі, застосованих до групи ускладнень під час буріння наведено на рис. 3.11.

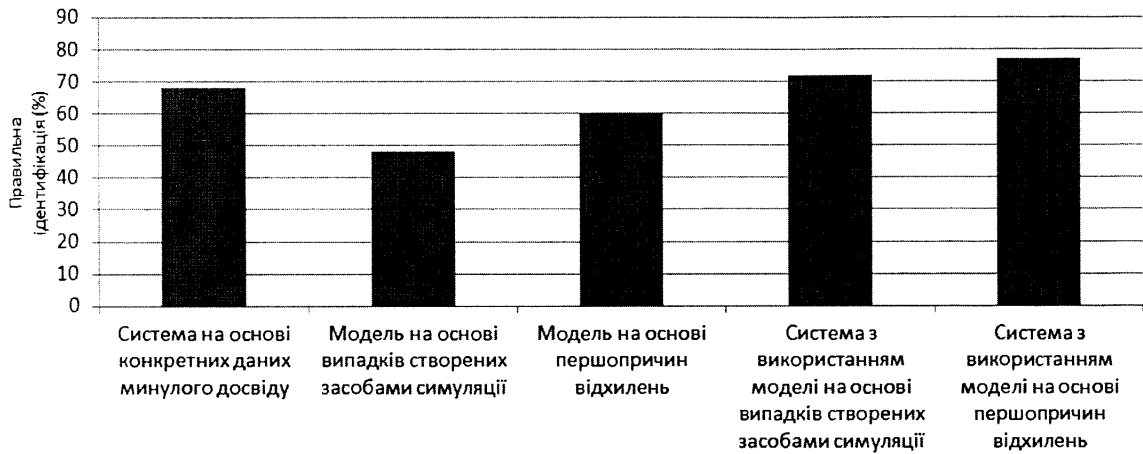


Рис. 3.11. Загальна точність ідентифікації випадків для всіх методів

Два різні методи, засновані на моделях, можуть погано міркувати самі по собі. Загальна точність визначення подібності кортежів для них становить 48% та 60% відповідно. Інтеграція моделей із звичайним CBR значно покращує результат міркувань. Підсилення простого CBR змодельованими випадками підвищило результат до 74% правильно відібраних випадків замість 68% звичайним CBR, покращує можливості процедури пошуку прецедентів, викликаючи всі залежні сутності з врахуванням особливостей випадку. Це означає, що введення змодельованих випадків до бази прецедентів з врахуванням особливостей випадку покращить ідентифікацію ситуацій що виникають під час технологічного процесу буріння.

Друга інтегрована система розширює можливості підтримки прийняття рішення засобами ідентифікації на основі першопричин. Тому використання параметрів буріння може потенційно забезпечити вищу точність при визначенні відповідності випадків з прецедентами, занесеними в дані. Застосування цих методів показують, можливість підвищення точність процесу ідентифікації, а відповідно і отримання ефективного рішення щодо організації технологічного

процесу буріння. Основний висновок полягає в тому, що розширення підходу CBR визначення першопричин на основі параметрів буріння дозволяє міркувати і здійснювати процес пошуку прецеденту з точністю на 9% вище порівняно із звичайним методом CBR, а засобами моделювання ситуацій на 6%. Такі показники є значним покращенням буріння нафтових свердловин, тому що для отримання правильного рішення для проблемної ситуації першочерговим є досягти точності прецеденту, на основі якого пропонується рішення.

Для другої групи класифікація випадків була така сама. Результати показують, що система зі змодельованими випадками дає збільшення точність процесу пошуку на невеликий відсоток. У той час як процес визначення першопричин не змінив показників порівняно зі звичайним CBR. Аналіз другої групи ускладнюється, оскільки між різними підходами до міркувань немає суттєвих відмінностей, а кількість розглянутих випадків в другій групі менша.

На противагу простого CBR, де немає явного генетичного знання та потребується велика кількість прецедентів, що фіксується записом даних з застосуванням простої описової структури та застосуванням загального алгоритму визначення подібності без адаптації та навчанням на рівні простого зберігання, розширені системи засновані на суттєвих генетичних знаннях, менш чутливі до кількості випадків, можуть описуватись багатьма параметрами, здійснювати порівняння, враховуючи особливості процесу та адаптуючи рішення та навчаючи систему на основі знань.

Дане дослідження може мати розвиток з погляду тестування моделей на більшій основі. Деякі випадки виявляють, що незначний час простою під час буріння може перетворитися на незначний або значний час простою під час спуску обсадної колони, при бурінні якого були ускладнення та навпаки при подальшому бурінні, якщо при спуску обсадної колони на вже пробурену ділянку були ускладнення. З цієї точки зору поєднання випадків цих груп є настільки ж важливим, як і окремі групи. Оскільки кейси містять інформацію як про наслідки проблеми з бурінням, так і під час спуску обсадної колони, тому можливо сформувати комбіновану групу класів. Під час дослідження інтерпретовано

реальні дані та застосовано дані змодельовані засобами тренажеру Drillsim5000, однак слід зазначити, що для інтеграції запропонованих моделей оптимізації характеристик процесу буріння в реальних умовах, базу знань потрібно доповнити даними більшої кількості випадків з реальної практики буріння.

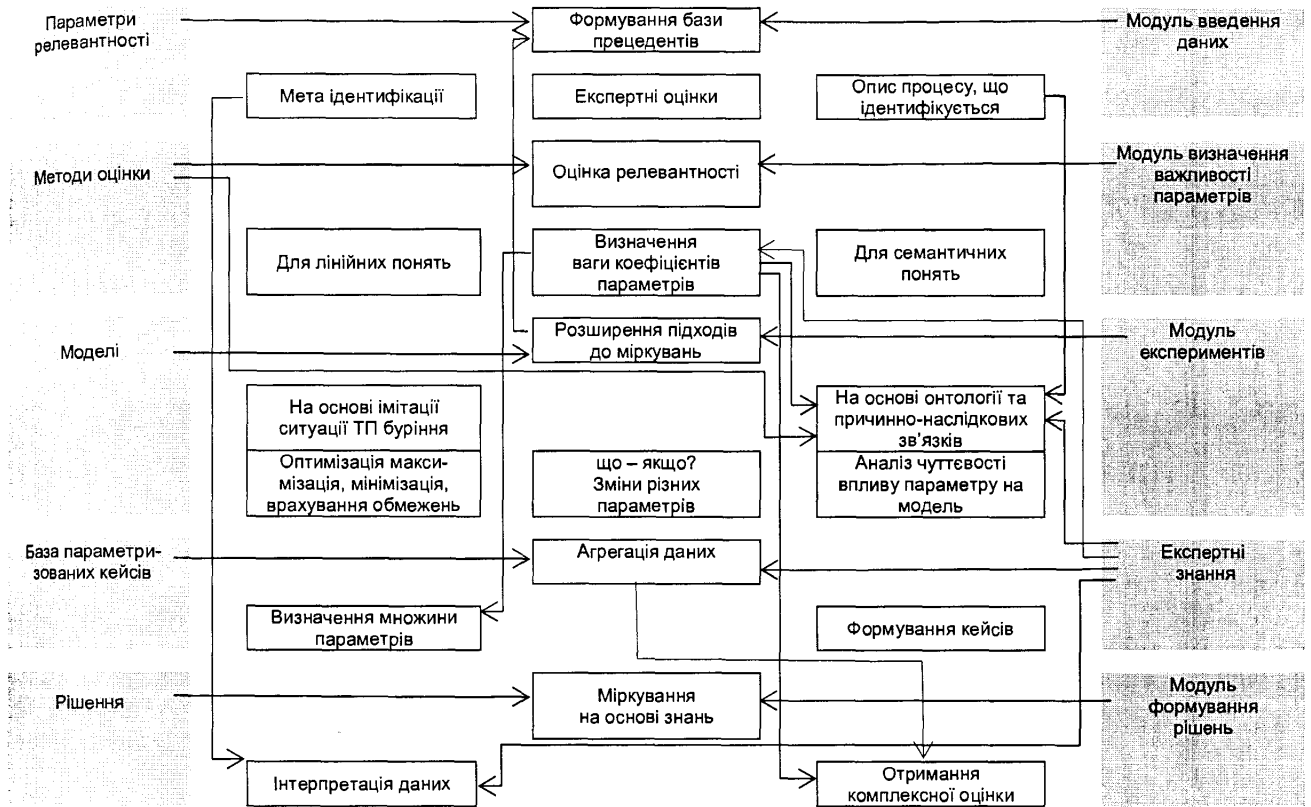


Рис. 3.12. Загальна схема інформаційного забезпечення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення

Комбінація підходів до поставленої в дослідженні проблеми покликана компенсувати недоліки їх роздільного використання. Зокрема, об'єктно-орієнтоване моделювання забезпечує цілісне уявлення предметної області (предметні поняття і відносини між ними). Прецедентний підхід дозволяє за короткий час знаходити рішення, але тільки при наявності прецедентів (досвіду). У разі відсутності прецедентів, використовується метод міркувань на основі моделі, що містить інформацію про залежності між предметними сутностями, процесами, явищами. Використання даного методу вимагає більшого обсягу вихідних даних і знань, збір яких у свою чергу пов'язане зі значними тимчасовими

витратами, тому що необхідне проведення додаткових аналітичних досліджень досліджуваного об'єкта, експериментів і випробувань. У свою чергу деякі елементи рішення можуть бути визначені без залучення методів штучного інтелекту, але за допомогою аналітичних функцій.

При послідовному застосуванні моделювання забезпечується систематична оцінка вплив технічної невизначеності щодо результатів. Послідовний підхід дозволяє порівняння та визначення рейтингу розвідки та розробки, надає можливості компанії визначити і розвивати кращі перспективи.

### **Висновки до третього розділу**

1. Визначено оптимальну структуру бази даних вхідної геолого-технічної інформації в умовах невизначеної, неточної, нечіткої, слабо структурованої і неструктурованої інформації. В умовах браку кількісних даних, шляхом вимірювання лінійної та прямої символічної подібності, які дозволяють чітко співвідносити множини вхідних та вихідних даних, згруповано дані по підмножинам при побудові системи на основі методів ШІ.

2. Представлено оцінку подібності та алгоритм знаходження аналогів в базі прецедентів, що використовують кейс базований підхід, заснований на моделях, з метою підвищення точності пошуку на основі конкретних випадків на основі двох різних механізмів вимірювання подібності, лінійний та семантичний. Проаналізовано розробку структури декларативного набору знань поданих в класі знань, побудову набору правил для обґрунтування та пояснення для обслуговування запитів, як засоби підтримки прийняття рішень в інтелектуальній системі технічного процесу буріння.

3. Представлено опис проблеми впровадження інтелектуальної автоматизацій з метою підтримки прийняття рішень буріння шляхом побудови детальної моделі, що передбачає виділення множин керованих, некерованих, збурюючих та вихідних технологічних параметрів.

4. Реалізовано способи міркування на основі досвіду, що дозволяють отримати прийнятне рішення за короткий проміжок часу без глибоких знань про процес зміни технічного стану машини та міркування на основі моделі, що забезпечують можливість адаптації отриманого за аналогією рішення або вироблення принципово нового рішення, але вже із залученням більш глибоких знань про явища, що супроводжують процес зміни технічного процесу буріння. Для обчислення окремих параметрів об'єкта дослідження використано математичні моделі (обчислювальні процедури), що підвищують точність рішення.

5. Представлено ефективність інтеграції різних моделей міркування на процес пошуку оптимального рішення при розширенні знання-орієнтованої системи з використанням даних про технологічний процес буріння змодельованих засобами тренажера, що розширює набір прецедентів та з використанням більш цілеспрямований підхід, при якому особливо наголошувались першопричини ситуації.

## РОЗДІЛ 4

### ФОРМУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК БУРІННЯ

#### 4.1. Інтелектуальна модель оптимізації технологічного процесу автоматизованої системи керування

На сьогоднішній день ряді свердловин впроваджено технічні рішення по автоматизації з широкою номенклатурою систем телемеханіки та телеметрії. Для використання прецедентів на основі найбільш ефективних технічних рішень, оптимізації капітальних вкладень в перспективні проекти, нові проекти реконструкції і технічного переозброєння діючих потужностей стоїть завдання систематизації отриманого досвіду і розробки єдиного комплексного підходу до автоматизації процесу буріння та інтеграції інтелектуальних додатків.

Практична реалізація інтелектуального способу керування полягає в визначенні оптимальних режимів процесу буріння і пов'язана з рядом труднощів, які полягають в тому, що певну інформацію неможливо отримати в процесі буріння свердловини. Усунути недоліки такого підходу пропонується шляхом застосування способу адаптації керування, який дає змогу зняти початкову невизначеність параметрів математичної моделі при зміні умов буріння і при дії на режимні параметри.

Основною вимогою для інтелектуальної автоматизації на стадії освоєння родовища є формування структури параметрів, за допомогою якої можна чітко сформулювати основні рішення щодо керування процесом буріння та забезпечення обробки необхідного обсягу вхідних даних.

Основними етапами формування інформаційної структури є:

- класифікація параметрів;
- побудова матриці взаємозв'язку параметрів, вибір критеріїв та встановлення обмежень оптимізації;
- опис типових рішень з застосуванням автоматизації, що сприяють

оптимізації технологічного процесу.

Сучасні автоматизовані системи управління процесом буріння змодельовані з врахуванням різних критеріїв. На більшості нафтогазових об'єктах реалізована можливість підключення і відключення ряду обладнання та резервних потужностей в автоматичному режимі з елементами інтелектуального управління, є розвинена лінійка управління спектром технологічного обладнання наземної інфраструктури родовищ і управлінням свердловинним фондом.

Однак жодна з систем не розв'язує комплекс завдань щодо оптимізації процесу управління процесом буріння, основною особливістю якого є короткочасність і швидкоплинність перехідних процесів та інформаційна невизначеність наприклад про тип та характеристики породи, знос ґрунторуйнуючого обладнання та ін.

Оптимізація процесу буріння полягає в використанні досвіду раніше пробурених свердловин як основу та застосування математичних методів оптимізації для зменшення витрат на буріння для наступних свердловин, що буряться. Шляхом порівняння даних раніше пробурених свердловин, змінні буріння поступово змінюються до найбільш ефективного рівня, щоб зменшити час і вартість буріння. Крім того, застосовуються процедури оптимізації при виборі бурової установки, щоб покращити термін служби обладнання та стійкість свердловини та зменшити проблеми з бурінням.

При побудові інтелектуальної моделі формуються цілі оптимізації в кількісному вимірі у вигляді набору критеріїв, кейсів, до яких мають наближатись параметри буріння для отримання оптимального рішення.

Дослідження в області інтелектуальних систем вимагають дотримання вимог до характеристик інформаційного обміну в системі, а відповідно зростає роль вимоги до структури та якості інформації на вході. Оперативний розрахунок робочих параметрів буріння, які відповідають оптимальним значенням дозволяє підвищити ефективність процесу буріння в цілому. Тому розуміння поведінки даних буріння вважається ключовим фактором у формуванні ефективної моделі оптимізації характеристик буріння з використанням штучного інтелекту.

Слід враховувати той факт, що в відомих системах управління існують розбіжності в виборі критеріїв оптимізації режимних параметрів реального процесу буріння. В умовах невизначеності при бурінні основним методом є адаптивне управління. Сьогодні ще недостатньо розроблено підхід адаптивного управління процесом буріння, який може значно оптимізувати критерії досліджуваного технологічного процесу. Процес буріння характеризується нелінійною динамічною моделлю. Аналіз методів до вирішення завдання адаптивного управління процесом буріння показує, що в порівнянні з методом управління на основі аналізу властивостей лінійних взаємозв'язків, нелінійна постановка задачі, при комплексній оцінці груп параметрів дозволяє підвищити ефективність системи управління процесом.

Для побудови системи управління технологічним процесом буріння необхідним є підтримання режимних параметрів в області значень, які не виходять за допустимі межі. При виявленні відхилень значень режимних показників від гранично допустимих слід передбачити своєчасне реагування системи управління та підхід до їх усунення. Для оптимізації технологічного процесу буріння ефективним є пошук, заснований на автоматичному пошуку екстремуму режимних параметрів. Виконання наведених умов необхідно для оптимального управління процесом буріння.

Модель автоматизації на основі нелінійної постановки задачі заснована на принципі управління режимними параметрами та базується на методі екстремального пошуку, при цьому важливо визначити розрахункові залежності оптимальних значень режимних параметрів даного процесу. Дослідження матриці взаємозв'язків параметрів керування процесом буріння з використанням їх оптимальних значень вказують, що непряма оптимізація, яка полягає в пошуках штучного або умовного екстремуму, вимірюваного показника буріння, забезпечується відповідним поєднанням деякої сукупності показників. І це дозволяє досягти екстремумів показників ефективності буріння, який представляє собою інтегральний критерій оптимізації.



На оптимізацію процесу буріння особливий вплив мають наступні параметри, навантаження на долото, швидкість обертання, знос долота та інші режимні параметри, а також некеровані параметри такі як тип породи. Породний масив характеризується такими властивостями, як тріщинуватість, шаруватість і іншими порушеннями однорідності. При здійсненні технологічного процесу буріння також важливий правильний підбір бурового розчину і визначення його властивостей.

Ефективність буріння в цілому визначається обсягом зруйнованої буровим інструментом породи в одиницю часу, який безпосередньо пов'язаний з величиною потужності, що підводиться до забою. Цільовими функціями оптимізації буріння є такі основні критерії (характеристики):

- вартість пробуреного метру,
- обсяг породи, що руйнується в одиницю часу;
- механічна швидкість проникнення;
- рейсова швидкість.

Найважливішими регульованими змінними, що впливають на критерії буріння є тип долота, навантаження на долото, швидкість обертання, властивості розчину та гідравліка долота.

Складність пошуку оптимальних умов буріння за критерієм максимуму механічної швидкості буріння полягає в тому, що механічна швидкість буріння залежить від значного числа факторів, що впливають, поєднання яких не завжди здатне дати оптимальний комплексний результат. Крім того на швидкість буріння деякі змінні мають нелінійний вплив. В практиці визначено такі залежності від основних параметрів режимів буріння – механічна швидкість буріння, як правило, зростає зі збільшенням навантаження на долото, швидкості обертання, гідравлічної потужності долота, витрат розчину та фракційної висоти зубців долота. З іншого боку, вона зменшується із збільшенням густини бурового розчину та вмісту твердих часток. Деякі з цих параметрів можуть мати значний вплив на швидкість буріння, тоді як інші можуть мати незначний вплив.

Надмірне підвищення деяких параметрів, таких як навантаження на долото та швидкість обертання, може спричинити швидку ерозію долота, неправильне очищення свердловини та нестабільність бурової колони, що в кінцевому підсумку призводить до зменшення швидкості. Отже, необхідно визначити оптимальні значення кожного з цих параметрів, щоб уникнути проблем буріння, які можуть перешкоджати ідеальному сценарію буріння, одночасно збільшуючи швидкість буріння.

Якщо максимальні значення механічної швидкості не збігаються з умовами раціонального споживання і витрачання потужності, то параметр швидкості буріння, що прямує до максимального в якості критерію не може бути прийнятий за основу оптимального оперативного управління, тому що не передбачає отримання поряд з високою миттєвою швидкістю буріння економії за рахунок високого ресурсу інструменту і раціонального витрачання енергії на буріння, оптимального балансу робочого часу, високої якості робіт за рахунок збереження керна. На цьому етапі слід чітко сформулювати обмеження.

Механічна швидкість буріння пропорційна кількості підведеної до забою потужності, обернено пропорційна енергоємності руйнування породи і площі забою. При передачі енергії від джерела - бурового верстата до забою для руйнування гірської породи частина енергії витрачається на роботу бурильної колони. З точки зору оптимізації процесу буріння також враховується втрати енергії на шляху до забою.

Таким чином, інтенсифікація процесу руйнування гірської породи при бурінні може здійснюватися внаслідок:

- збільшення переданої гірській породі енергії, що передбачає також необхідність зниження її втрат при передачі від джерела енергії до забою свердловини;
- зменшення енергоємності процесу руйнування гірської породи;
- зменшення площі забою свердловини.

Вибір оптимального показника навантаження на долото здійснюється з врахуванням впливу таких взаємозалежностей та обмежень:

- гідравлічна потужність на долото: Якщо гідравлічна потужність на долото недостатньо для забезпечення належного очищення долота, швидкість буріння зменшується.
- тип породи: навантаження на долото є обмежено у м'яких породах, де надмірне навантаження лише закопує різці в гірську породу і спричиняє збільшення крутного моменту без збільшення швидкості.
- стабільність колони: на деяких ділянках збільшення навантаження на долото дає вигин у бурильній колоні, що призводить до кривизни свердловини. Для запобігання цьому бурова колона повинна бути належним чином стабілізована;
- знос долота: чим більше навантаження на долото, тим коротший термін його експлуатації. Оптимізація швидкості залежить від компромісу між навантаженням та зносом долота;
- поломка різців - твердих породах, що мають високу міцність, надмірне навантаження на долото призведе до поломки різців. Це виявляється після підняття долота з забою. Зламані різці – це чіткий показник того, що необхідне долото з коротшими, щільніше розташованими різцями або вставками.

Буровий інструмент спирається на забій ґрунторуйнуючими елементами, тому для ефективної роботи інструменту дуже важливі схема установки, розміри і форма ґрунторуйнуючих елементів. Раціональне та ефективне озброєння інструменту значно впливає на енергоємність руйнування гірської породи, визначає стійкість інструменту.

Оцінка продуктивності бурових доліт, об'єм породи за одиницю часу, здійснюється за наступними критеріями: проходка на долото(метри), швидкість проходки, вартість проходки (капітальні витрати долота плюс експлуатаційні витрати на його роботу в свердловині) на пробурений метр. Оскільки метою вибору долота є досягнення найнижчих витрат на метр пробуреної свердловини, найкращий метод оцінки продуктивності долота є останній із зазначених вище. Він може бути використаний для аналізу буріння для порівняння однієї проходки

з іншою у подібній свердловині та для прийняття рішення про підняття долота - долото повинно бути піднято теоретично, коли вартість метра мінімальна. Швидкість проникнення є одним із найважливіших факторів оцінки продуктивності долота. Цей показник розглядається як один з основних факторів, що впливає на витрати на буріння, і тому йому приділяється увага при плануванні оптимізованого буріння.

Таким чином, для обертального буріння умовами високопродуктивного буріння будуть великі значення питомого контактного тиску на забій, лінійні швидкості переміщення різця при підвищеному значенні коефіцієнта опору породи і мінімальна енергоємність руйнування гірської породи.

Енергоємність буріння, тобто збільшення переданої гірській породі енергії може бути отримано в результаті:

- збільшення частоти обертання ґрунторуйнуючого інструменту;
- збільшення осьового статичного або ударного навантаження на ґрунторуйнуючі різці бурового інструменту;
- передачі гірській породі додаткової теплової енергії (термомеханічне буріння);
- передачі гірській породі додаткової гідродинамічної енергії (гідромоніторного буріння). Зменшення енергоємності руйнування гірської породи можна досягти за рахунок:
  - створення ґрунторуйнуючого інструменту, максимально відповідного за своїми характеристиками міцності властивостями гірських порід;
  - застосування «знижувачів» твердості гірських порід (рідини з поверхнево-активними речовинами, ультразвукових коливань, електромагнітних впливів та ін.).

Зменшення втрат енергії при передачі від джерела до ґрунторуйнуючого інструменту можливо внаслідок переміщення приводу обертання інструменту до забою свердловини (застосування забійних гідро-або електродвигунів, редукторів-мультиплікаторів, що підвищують частоту обертання інструменту при помірній частоті обертання бурильної колони).

Зменшення площі забою свердловини відбувається за рахунок безперервного зменшення діаметра ґрунторуйнуючих інструментів і площі їх торця.

Тому напрямок мінімізації енергоємності руйнування породи є важливим при розгляді критеріїв для досягнення високої швидкості буріння і оптимізації процесу буріння в цілому.

Рейсову швидкість буріння, на відміну від механічної швидкості буріння, тільки частково можна віднести до оперативних критеріїв управління процесом буріння. Цей критерій є важливим при пошуку оптимальних умов, як технології, так і організації бурового процесу.

Оптимізація рейсової швидкості в напрямку її зростання пов'язана з аналізом часу буріння, який полягає в визначенні залежності від ресурсу бурового інструменту або зниженні імовірності самозаклинювання керн в керноприймальній трубі, в скороченні витрат часу на процес буріння і витрат часу простою бурової.

Швидкість обертання параметр, який впливає на швидкість буріння залежить від швидкості проникнення зубців і винесення шламу з свердловини. Досвід відіграє важливу роль у виборі правильної швидкості обертання в будь-якій ситуації. Швидкість обертання, застосована до долота взаємозалежна від:

- типу долота - низькі швидкості використовуються для вставних доліт, ніж для фрезерованих різців. Це робиться для того, щоб вкладиші мали більше часу для проникнення в пласт. Вставка роздавляє клин скелі, а потім утворює тріщину, яка розпушує уламок породи;
- типу ґрунту - більш тверді породи потребують низьких оборотів. Висока швидкість обертання може призвести до пошкодження долота або бурильної колони.

Величина поглиблення бурового інструменту за один оберт є комплексним показником, що дозволяє побічно розглядати і оцінювати фізичні процеси, що відбуваються на забої, зокрема, реакцію породи на входження різця, а також поведінку коронки, в тому числі під впливом таких керованих параметрів буріння,

як осьове навантаження, частота обертання інструменту в залежності від фізико-механічних властивостей породи і величини зносу різців. Оптимальним поглибленням за один оберт є величина знімання породи за один оберт, при яких не відбувається заповірювання алмазних різців коронки. При навантаженнях трохи вище зазначених, різці надмірно завантажуються в породу і руйнуються, не проводячи корисної роботи. Величина оптимального поглиблення алмазних різців залежить від їх розмірів, фізико-механічних властивостей породи і параметрів режиму буріння - осьового навантаження і частоти обертання. Величина оптимального поглиблення за один оборот для одношарової коронки нормативно повинна становити 2,5-10% діаметра алмазу.

Залежність поглиблення за один оберт від частоти обертання має складний характер. На інтервалі втомно-поверхневого руйнування, коли осьова навантаження недостатня для об'ємного руйнування породи, великі значення поглиблення за один оборот характерні для буріння на високих частотах обертання, а рівне поглиблення за один оборот в міру зниження частоти обертання досягається при більш високому осьовому навантаженні.

Оптимальний час перебування ґрунторуйнуючого інструменту на забої досліджується з урахуванням таким параметрів, як механічна швидкість буріння, рейсова швидкість буріння і вартість 1 м буріння.

Оцінка оптимальної працездатності інструменту є відносним показником ефективності і прямо залежить від механічної швидкості буріння і обернено від інтенсивність зносу. В свою чергу величина впливу на інтенсивність зносу залежить від частоти обертання та типу порід, під час буріння яких утворюється різний за розміром шлам. У той же час цей критерій оптимальності досить незручний з точки зору управління, так як виключена можливість оперативного вимірювання зносу бурового інструменту в процесі буріння. Моделювання швидкості зносу вибраних доліт дозволяє оцінити швидкість зносу долота для очікуваної літології, щоб передбачити проходку, час обертання долота та вартість за метр. Оптимізація часу заміни зношених доліт може призвести до значної економії коштів.

З наведених залежностей випливає, що однакову вартість 1 м буріння свердловини можна отримати як шляхом збільшення механічної швидкості буріння, зменшуючи при цьому стійкість бурового інструменту, так і в результаті підвищення стійкості інструменту, але при зниженні механічної швидкості буріння. Вибір оптимального варіанту поєднання стійкості бурового інструменту і механічної швидкості буріння слід проводити з урахуванням глибини свердловини. При зростаючій глибині свердловини більше важливою характеристикою буде велика стійкість бурового інструменту, що дозволить підвищити час, витрачений на поглиблення свердловини, в балансі загальних витрат часу на проведення робіт. При бурінні неглибоких свердловин, коли спуско-підйомні операції займають порівняно невелику частину в загальному балансі продуктивного часу, можна допустити варіант форсованого буріння на високих механічних швидкостях, але з дещо обмеженим ресурсом інструменту. Пошук оптимальних умов виробництва бурових робіт, параметрів режиму буріння, орієнтованих на мінімальну вартість одного метра пробуреної свердловини, є типовою задачею оптимізації. При вирішенні цього завдання дослідним шляхом можна отримати залежності, що відображають вплив параметрів режиму буріння на ресурс бурового інструменту і значення механічної швидкості буріння при певних постійних значеннях глибини свердловини, гірничо-геологічних умовах буріння і застосовуваних типах бурового інструменту.

Отримані дані дозволяють розрахувати вартості 1 м проходки для кожного варіанту поєднання параметрів режиму буріння і вибрати оптимальні параметри режиму буріння для певних умов бурильних робіт.

Багатоскладовий зв'язок умов і параметрів, що визначають собівартість буріння шарошечні долотами великого діаметру. Для мінімізації вартості 1 м проходки потрібно врахувати наступні параметри режиму буріння: частота обертання долота, осьове навантаження, враховуючи, що підвищення частоти обертання долота призводить до зниження проходки на долото і підвищенню вартості 1 м проходки.

В разі пошуку оптимальних умов буріння у взаємозв'язку з вартістю буріння, використовується показник витрати алмазів на 1 м проходки. Витрата алмазів без рекуперації в нормі зазвичай становив 0,6-1,0 карат / м в залежності від твердості гірських порід і ступеня досконалості застосовуваної технології буріння.

Оптимальні параметри режиму буріння, вибір яких здійснюється по мінімуму вартості 1 м проходки, як правило, відповідають найбільш ефективному процесу руйнування гірських порід, який буде характеризуватися мінімальними витратами енергії на руйнування, високими значеннями механічних швидкостей буріння і ефективним ресурсом бурового інструменту.

Таким чином, вибір способу буріння - багатофакторний аналіз, підсумком якого може бути рівень прибутку, вираженої через економію витрат при збереженні високої якості і достовірності отриманої геологічної інформації.

Важливим етапом складання оптимізованої програми буріння є планування детальної програми бурового розчину, тому що має значний вплив на оптимізацію бурових операцій, таких як вантажопідйомність шламу, швидкість проникнення, стабільність колони, пошкодження пласта, втрата циркуляції, злипання труб, а також контроль тиску пласта. Інтервали глибини, розмір свердловини, характеристики бурових труб і колон, а також властивості шламу та насоса є вхідними параметрами для складання визначення програми гідравлічної оптимізації.

Найкращі результати щодо швидкості буріння були досягнуті буровими розчинами на масляній основі, але багато успіху досягнуто з розчинами на водній основі. Причини поліпшення характеристик розчинів на масляній основі пояснюються підвищеним ефектом змащення, зниженням температури зносу різця та переважним змащенням корпусу долота. Змащувальні добавки в розчині знижують сили тертя бурильного інструменту об стінки свердловини, збільшують довговічність забійних двигунів і доліт, змінюють деякі параметри вібрацій бурильного інструменту. Збільшення вмісту твердих речовин в розчині або густина розчину зменшує швидкість буріння.



Для запобігання надходженню пластових рідин у стовбур свердловини тиск гідростатичного бурового розчину повинен бути трохи більшим, ніж тиск пластового. Цей надмірний баланс, або перепад позитивного тиску, змушує рідку частину шламу (фільтрату) потрапляти в пласт, залишаючи тверді речовини утворювати фільтруючий осад на стінці свердловини. У пористих формаціях цей фільтруючий ефект запобігає подальшому потраплянню розчину в пласт.

Збільшення густини розчину підвищує стійкість стінок свердловини, але одночасно зменшує ефективність виносу шламу.

Зменшення вмісту твердих речовин у шламi (як глини, так і твердих частинок), видалення твердих речовин є важливим для підвищення ефективності буріння. У менш пористих формаціях ефект не такий значний, оскільки осад на фільтрі значно тонший.

Збільшення в'язкості розчину збільшує ефективність очищення від шламу, але потребує більшого тиску для прокачування розчину.

Ця інформація використовується для максимізації потужності гідравліки долота та вибору ефективних гідравлічних параметрів в інтервалі глибини свердловини і дозволяє:

1) визначити мінімально необхідну швидкість потоку для ефективного підйому шламу та максимальну швидкість потоку, яку можна досягти за допомогою наявного обладнання

2) обчислити оптимальні суми втрат тиску на тертя всередині і зовні бурильної колони та поверхні та розрядні втрати тиску при максимально допустимому тиску насоса.

3) визначити втрати тиску на тертя всередині і за межами бурильної колони та поверхні як функцію від швидкості потоку.

Комплексна оцінка оптимальності процесу буріння. Поряд з названими критеріями рекомендується комплексна оцінка оптимальності процесу буріння, де враховуються два основні показники: витрати потужності на буріння і механічна швидкість буріння. Цей критерій, отриманий виходячи з енергетичних витрат на

буріння і руйнування гірської породи, визначає таке важливе поняття, як енергоємність процесу руйнування гірських порід або буріння.

Слід зазначити, що класифікація характеристик режиму буріння та їх взаємозв'язок не є жорсткими, оскільки деякі параметри, на які немає миттєвого впливу, можуть бути змінені керуванням змінних. Наприклад, зміна типу долота, що призводить до більш швидкого проникнення через конкретну формацію. Зміна бурової рідини та типу долота впливає на об'єм зруйнованої породи, але бурові властивості породи залишаються незмінними.

Такі показники як енергоємність буріння, навантаження на долото, гідравлічна потужність можуть розглядатись як вхідні параметри, так і неконтрольовані і розглядатись в системі з різних аспектів, як вхідна інформація так і як функція, що підлягає оптимізації процесу буріння.

На основі класифікації параметрів буріння та їх взаємозалежностей, побудовано матрицю взаємозв'язків та визначити параметри, які мають найбільший вплив на процес буріння (рис. 4.1).

З можливих зв'язків між параметрами виділених груп найбільшу цінність представляють кейси виду, що включають:

Керовані

$A = \{ \text{швидкість буріння, швидкість обертання долота, навантаження на долото, тип розчину, час перебування інструменту у забої, витрати розчину} \}$

Обчислювальні

$B = \{ \text{енергоємність, гідравлічна потужність, продуктивність долота} \}$

Параметри середовища

$C = \{ \text{тип породи, глибина свердловини} \}$

Якщо значення множини  $A$  відповідають значенням оптимізації та контрольовані через значення множини  $B$ , з врахуванням незмінних параметрів множини  $C$ , то для кожного кейсу параметрів можна описати оптимальне керування процесу буріння як функцію, що призводять до екстремуму (максимуму або мінімуму) деякої змінної, прийнятої за критерій оптимізації

$X = f(A, B, C) \rightarrow \text{extr}$

Кейси виду А дозволяють отримати загальне рішення.

Кейс виду Х виражають закономірність управління процесом буріння.

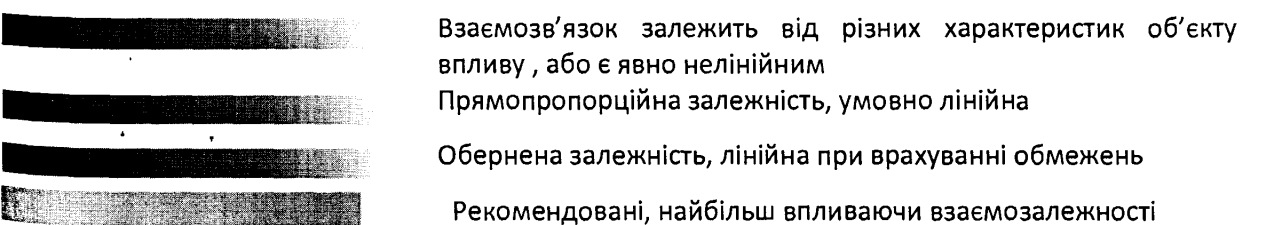
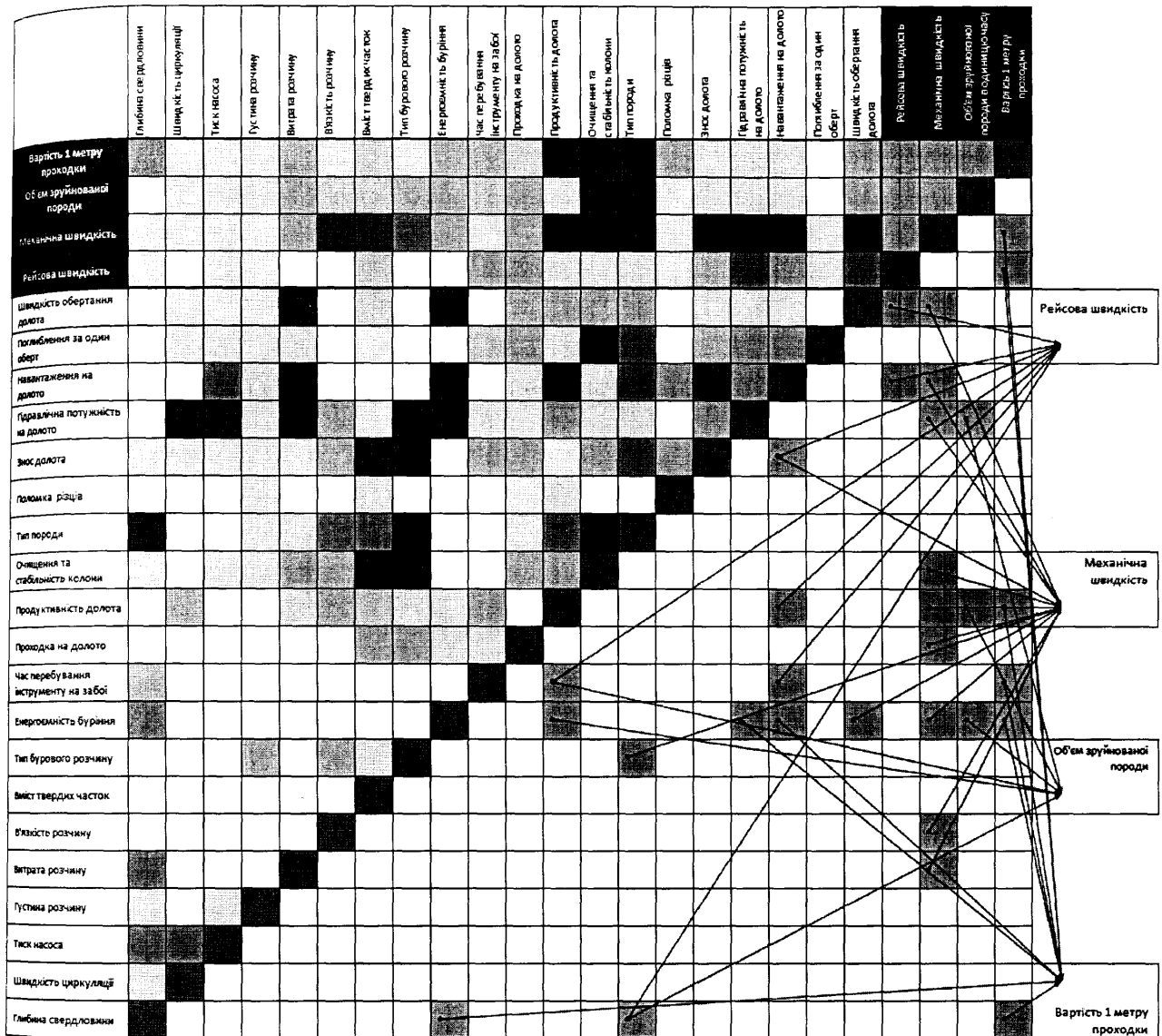


Рис. 4.1. Матриця визначення параметрів для побудови моделі, що мають найбільший вплив на процес буріння

Процедура вирішення задачі оптимізації обов'язково включає, крім вибору керуючих параметрів, ще й встановлення обмежень на ці параметри. Завдання вибору обмежень є однією з найважливіших, часто визначальною успіх

оптимізації. Проблема вибору оптимальних режимів буріння полягає в необхідності вибору спільно з обмеженнями значення керуючих впливів, що призводять до екстремуму (максимуму або мінімуму) деякої змінної, прийнятої за критерій оптимізації (ефективності) [90].

Обмеженнями для процесу буріння є межі міцності конструктивних елементів, енергоємність, ресурс долота, максимальна потужність приводів бурового агрегату.

Однією з основних задач теорії автоматичного управління є визначення такого алгоритму управління, який забезпечує мінімальне або що не перевищує необхідного відхилення вектору вихідного стану об'єкт управління від необхідного значення. Таким чином, моделювання і адаптація автоматизованої системи керування полягає в побудові моделі проблемної області та її своєчасному коректуванню.

Сучасні автоматизовані системи передбачають отримання раціональних або оптимальних значенні керованих параметрів. Принципова відмінність моделі інтелектуальної системи управління процесом буріння, що полягає в відсутності заздалегідь встановлених або відомих значень. На відміну від принципів формування автоматичної системи, управління бурінням передбачає обробку поточних значень режимних параметрів і властивостей породи з отриманням значень оптимальних режимних параметрів і мінімальної собівартості буріння, відповідних поточному набору властивостей породи і параметрів процесу. Операції по знаходженню оптимальних значень режимних параметрів виконуються постійно з деяким дискретним інтервалом. Інтелектуальна система в постійному режимі використовує вплив керування для зміни значень режимних параметрів, в результаті якого поточне значення визначеного критерію постійно наближається до оптимального.

Оптимізація продуктивності свердловин - це логічний процес аналізу ефектів та взаємодії змінних свердління за допомогою математичного моделювання для досягнення максимальної ефективності буріння.

Процес включає в себе після оцінку запису отриманих з свердловин для визначення економічної ефективності обраних змінних.

Визначено набір змінних, які пропонують найкращий потенціал для ефективності процесу буріння, що включає тип бурового розчину, гідравліку, тип долота, навантаження на долото та швидкість обертання.

Так як параметри режиму буріння взаємопов'язані, то найбільша ефективність буріння досягається лише при оптимальному поєднанні цих параметрів, що залежить від фізико-механічних властивостей породи, конструкції долота, глибини залягання розбурюється породи та інших факторів. Збільшення одного з параметрів режиму, наприклад, осьового навантаження, сприяє підвищенню ефективності буріння лише до тих пір, поки він не досягне оптимального значення при даному поєднанні інших параметрів. Збільшення даного параметра вище цього оптимального значення може сприяти подальшому підвищенню ефективності буріння тільки в тому випадку, якщо одночасно будуть змінені всі або деякі інші параметри (наприклад, збільшений витрата промивальної рідини, зменшена частота обертання). Зміненим поєднанням інших параметрів режиму відповідає нове оптимальне значення даного. Зміна параметрів режиму можливе лише в певних межах, які залежать від міцності долота, особливостей способу буріння, технічних параметрів бурової установки і ряду інших чинників.

#### **4.2. Імплементация кластерного аналізу, як методу машинного навчання при реалізації інтелектуальних моделей оптимізації**

З метою демонстрації роботи кейс-методу використано дані, отримані під час бурових робіт на свердловині №9 Микуличинська. В таблиці 4.1 наведено приклад набору даних в скороченому вигляді, повний набір даних наведено в додатку Ж.

Кожен запис даних, що досліджуються, являє собою вектор розмірністю  $p$ , нехай  $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$  – вектор, що відповідає  $i$ -му значенню, а  $(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jp})$  – вектор, що відповідає  $j$ -му значенню, відповідно.

Таблиця 4.1

## Приклад досліджуваного набору даних (скорочено)

RowN	Length	Time	Velocity	BitLoad	StandPressure	Density	WaterBack
1	46	41.25	1.115152	3	20.0	1.15	12.0
4	50	18.75	2.666667	3	25.0	1.15	12.0
5	26	20.25	1.283951	3	25.0	1.15	12.0
6	8	8.00	1.000000	11	30.0	1.15	12.0
7	4	15.00	0.266667	11	30.0	1.18	12.0
...	...	...	...	...	...	...	...
219	14	38.00	0.368421	14	80.0	1.25	6.0
221	5	15.75	0.317460	10	60.0	1.25	5.5
223	17	26.25	0.647619	14	80.0	1.25	5.5
224	23	35.00	0.657143	14	80.0	1.25	5.0
226	5	13.00	0.384615	10	55.0	1.25	5.5

Для проведення дослідження із повного набору даних обрано наступні показники (табл. 4.2). Приклад вектору для запису №5 має вигляд (26, 20.25, 1.283951, 1.75, 3, 25.0, 1.15, 12).

Таблиця 4.2

## Показники буріння, які обрано для демонстрації роботи кейс-методу

Назва параметра	Значення
RowN	Номер запису
From	Робота долота. Інтервал «Від»
To	Робота долота. Інтервал «До»
Length	Робота долота. Інтервал «Довжина, м»
BoringType	Спосіб буріння
Time	Робота долота. Час операції (год)
Velocity	Робота долота. Швидкість операції, м/год
BitLoad	Параметри режиму буріння. Навантаження на долото, Кн
StandPressure	Тиск на стояку, МПа
Density	Параметри промивальної рідини. Густина (г/см <sup>3</sup> )
WaterBack	Параметри промивальної рідини. Водовіддача (см <sup>3</sup> за 30 хв)

Дослідження проводилося з використанням наступних бібліотек для мови Python:

`NumPy` – розширення мови Python, що додає підтримку великих багатовимірних масивів і матриць, разом з великою бібліотекою високорівневих математичних функцій для операцій з цими масивами;

`pandas` – програмна бібліотека, написана для мови програмування Python для маніпулювання даними та їхнього аналізу. Вона, зокрема, пропонує структури даних та операції для маніпулювання чисельними таблицями та часовими рядами;

`matplotlib` – бібліотека мовою програмування Python для візуалізації даних двовимірною 2D та тривимірною 3D графікою;

`seaborn` – бібліотека функцій візуалізації даних, що пропонує високорівневий інтерфейс для малювання привабливих та інформативних статистичних графіків. Базується на використанні `matplotlib`;

`SciPy` — відкрита бібліотека високоякісних наукових інструментів мовою програмування Python. `SciPy` містить модулі для оптимізації, інтегрування, спеціальних функцій, обробки сигналів, обробки зображень, генетичних алгоритмів, розв'язування звичайних диференціальних рівнянь та інших задач, які розв'язуються в науці і при інженерній розробці;

`Scikit-learn` (також відома як `sklearn` або `scikits.learn`) — безкоштовна програмна бібліотека машинного навчання для мови програмування Python, яка надає функціональність для створення та тренування різноманітних алгоритмів класифікації, регресії та кластеризації, таких як лінійна регресія, `random forest`, градієнтний бустинг, і працює у зв'язці з бібліотеками `NumPy` та `SciPy`. Є однією з найбільш популярних бібліотек машинного навчання.

При ідентифікації випадків слід враховувати спосіб буріння, так при турбінному бурінні такої вплив полягає в збільшенні тиску промивної рідини, збільшенню частоти обертання долота, тут нема такої однозначної залежності.

Як видно з рис. 4.2 турбінний спосіб буріння було застосовано лише на певних ділянках глибин. Він характеризується відносно невеликим часом операції та меншим розкидом показників швидкості буріння.

Аналогічні висновки можна зробити дослідивши гістограми розподілу значень довжини проходу, часу технологічної операції та швидкості для різних способів буріння (рис. 4.3).

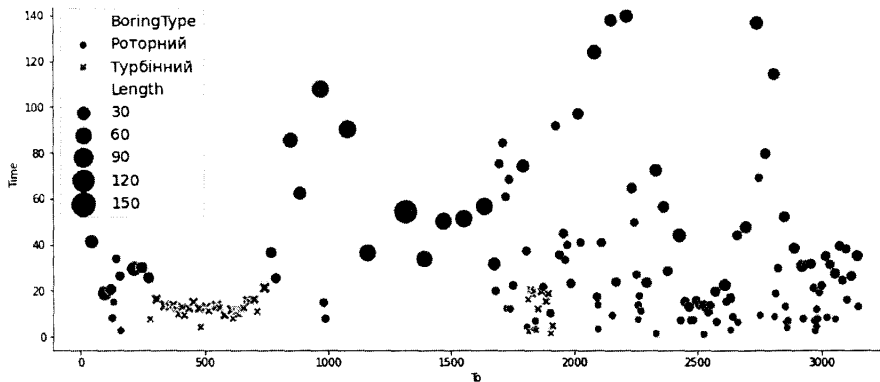


Рис. 4.2. Залежність часу технологічної операції (вісь y) та довжини проходу (розмір маркера) від глибини (вісь x) та способу буріння (маркер)

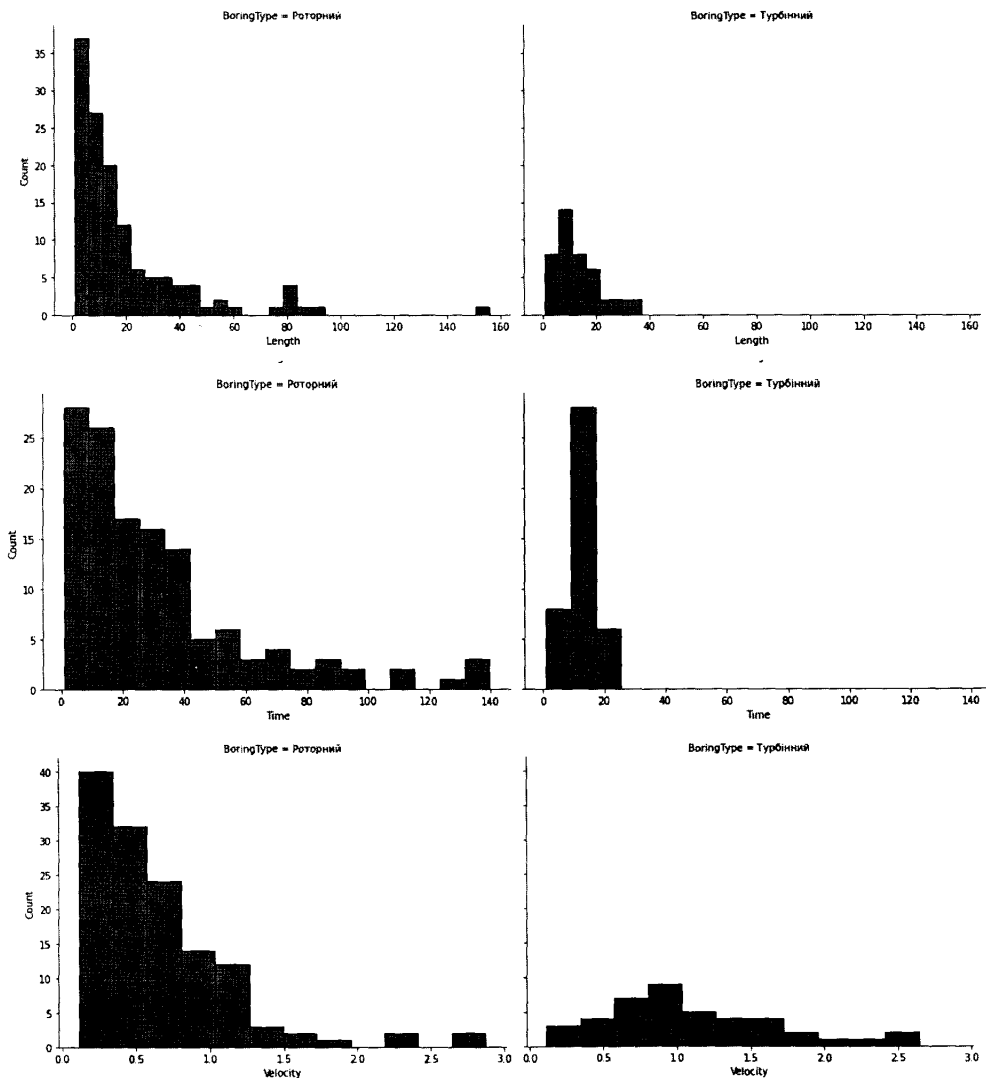


Рис. 4.3. Гістограми розподілу значень довжини проходу, часу технологічної операції та швидкості для різних способів буріння.



Для пошуку та виявлення прецедентів в історичних даних буріння можна використати різні методи класифікації, зокрема, для проведення дослідження було обрано кластерний аналіз — процес сегментації вихідного набору даних на набори (кластери або групи) однорідних записів, які і будуть утворювати бажані прецеденти. В сучасній науці про дані кластерний аналіз відноситься до методів машинного навчання без учителя та широко застосовується для вирішення задач бізнесової, маркетингової та промислової аналітики. Формально кластерний аналіз може бути описаний як алгоритм, що вимірює відстань між записами, та на основі цих відстаней формує групи таких записів.

Алгоритми кластеризації набору даних поділяються на два основних типи: ієрархічні та не-ієрархічні. Кластеризація даних буріння свердловини №9 Микуличинська було здійснено із використанням агломеративного ієрархічного методу, що іде шляхом об'єднання записів, на відміну від дивізимних методів, що відповідно, ідуть шляхом розбиття записів. Для набору даних з  $n$  записів агломеративні методи починають свою роботу з  $n$  кластерів (кожен окремий запис виділяється в окремий кластер), після чого відбувається послідовне попарне об'єднання подібних кластерів між собою, до утворення одного кластера, що містить всі  $n$  записів початкового набору. Дивізимні методи працюють в зворотному напрямку, починаючи від одного кластера, що включає всі записи, послідовно намагаючись розбити один кластер, на два меншого розміру. Ієрархічні методи кластеризації надзвичайно ефективні для виявлення природньої ієрархії в записах даних.

Перш ніж приступити до реалізації як ієрархічних так і не-ієрархічних методів необхідно дати визначення тому, як будуть вимірюватись два типи відстаней: відстань між двома записами та відстань між двома кластерами.

Відстанню, або мірою розбіжності, між двома записами даних  $i$  та  $j$  будемо вважати величину  $d_{ij}$ , для якої мають виконуватися наступні умови:

невід'ємність —  $d_{ij} \geq 0$ ;

тотожність —  $d_{ii} = 0$ ;

симетричність —  $d_{ij} = d_{ji}$ ;

нерівність трикутника –  $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{kj}$ .

Найбільш розповсюдженою метрикою  $d_{ij}$  є відстань Евкліда, що визначається як:

$$d_{ij} = \sqrt{(d_{i1} - d_{j1})^2 + (d_{i2} - d_{j2})^2 + \dots + (d_{ip} - d_{jp})^2}, \quad (4.1)$$

В таблиці 4.3 наведено відстані між всіма записами вихідного набору даних, розраховані за формулою відстані Евкліда.

Одним з недоліків даної метрики є те, що параметри із великими абсолютними значеннями мають більший вплив на результуюче значення відстані між записами даних. Для усунення такого впливу доцільно провести нормалізацію даних перед розрахунком відстаней.

Таблиця 4.3

Відстані між всіма записами вихідного набору даних (скорочено)

RowN	1	4	5	6	7	...
1	0.000000	23.450100	29.480349	52.094393	51.179545	...
4	23.450100	0.000000	24.118964	44.399778	47.173996	...
5	29.480349	24.118964	0.000000	23.763536	24.532596	...
6	52.094393	44.399778	23.763536	0.000000	8.130263	...
7	51.179545	47.173996	24.532596	8.130263	0.000000	...
...	...	...	...	...	...	...
219	69.578230	69.972169	60.576177	59.360415	56.631067	...
221	64.797444	59.315607	43.711487	34.283390	32.997272	...
223	70.654378	66.989918	58.537722	55.816746	54.582163	...
224	69.522261	68.302073	61.985606	63.128362	61.320122	...
226	63.781707	57.537208	41.269769	30.961891	30.097032	...

В таблиці 4.4 наведено матриця відмінності, яка визначає рівень спорідненості між парами записів, розраховані за формулою відстані Евкліда, після нормалізації вихідного набору даних.

Таблиця 4.4

Відстані між всіма записами нормалізованого вихідного набору даних

(скорочено)

RowN	1	4	5	6	7	...
1	0.000000	3.018052	1.300313	3.116178	3.520219	...
4	3.018052	0.000000	2.830915	4.317646	5.450242	...
5	1.300313	2.830915	0.000000	2.442708	3.079246	...
6	3.116178	4.317646	2.442708e	0.000000	1.406086	...
7	3.520219	5.450242	3.079246	1.406086	0.000000	...
...	...	...	...	...	...	...
219	5.209392	6.595995	5.011019	3.890281	3.651759	...
221	4.857689	6.299054	4.434852	3.656095	3.379850	...
223	5.331212	6.400442	5.044835	4.011124	3.983969	...
224	5.738489	6.756292	5.527997	4.722617	4.680338	...
226	4.896489	6.262829	4.445775	3.702164	3.477370	...

Іншою розповсюдженою метрикою відстані між записами даних є кореляційна подібність. На противагу метриці відстані, що є мірою розбіжності між записами, інколи є доцільним використовувати міру подібності. З цією метою використовують коефіцієнт кореляції Пірсона  $r^2_{ij}$ , який визначається наступним чином:

$$r^2_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^p (x_{im} - \bar{x}_m)(x_{jm} - \bar{x}_m)}{\sqrt{\sum_{m=1}^p (x_{im} - \bar{x}_m)^2 \sum_{m=1}^p (x_{jm} - \bar{x}_m)^2}}, \quad (4.2)$$

Та може бути легко перетворений до метрики відстані:

$$d_{ij} = 1 - r^2_{ij}. \quad (4.3)$$

Статистична відстань (або відстань Махаланобіса) має перевагу над іншими метриками, оскільки вона враховує взаємозв'язок між даними. При використанні даної метрики, записи, що сильно корелюють між собою мають менший вплив на результуюче значення відстані, ніж ті записи, що не корелюють, або слабо корелюють між собою. Статистична відстань між записами визначається як

$$d_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)' S^{-1} (X_i - X_j)}, \quad (4.4)$$

де

$X_i$  та  $X_j$  – вектори даних, що відповідають  $i$ -му та  $j$ -му запису відповідно;

$'$  – оператор транспонування, що фактично перетворює вектор із стовпчика на рядочок;

$S^{-1}$  – обернена матриця до матриці  $S$ , що коваріаційною матрицею деякого багатовимірного розподілу, що дозволяє визначити відстань між випадковими векторами із цього розподілу із врахуваннями кореляцій між компонентами. У випадку коли  $S$  – одинична матриця, відстань Махаланобіса збігається з евклідовою відстанню.

Манхеттенська метрика (метрика прямокутного міста) є лінійною мірою відстані (на противагу евклідовій відстані, що є квадратичною), та визначається як сума довжин проєкцій відрізка між точками на осі координат:

$$d_{ij} = \sum_{m=1}^p |x_{im} - x_{jm}|. \quad (4.5)$$

Ще одною метрикою відстані може бути максимальна координатна відстань, яка визначається як максимальна різниця між параметрами двох записів:

$$d_{ij} = \max_{m=1,2,\dots,p} |x_{im} - x_{jm}|. \quad (4.6)$$

Варто зазначити, що для кластерного аналізу вибір метрики, за якою будуть здійснюватися розрахунки відстаней між записами, є дуже важливий. Незважаючи на те, що Евклідова відстань є найбільш розповсюдженою, вона має ряд недоліків, до яких відноситься залежність від абсолютних значень параметрів даних, про яку згадувалось вище. Зміна шкали вимірювання величин (наприклад, для параметру швидкості, перехід від км/год до м/с) може мати значний вплив на кінцевий результат. Нормалізація є типовим рішенням даної проблеми, проте при проведенні кластерного аналізу може мати сенс нерівномірне зважування параметрів записів даних, коли є бажаним вказати параметри, що є більш пріоритетними за інші.

По-друге, Евклідова відстань повністю ігнорує наявність залежності між записами даних. Отже, якщо між записами даних існує значна кореляція, тоді доцільно використати інші метрики відстані, наприклад статистичну відстань. І по-третє, евклідова відстань чутлива до грубих похибок (викидів) в даних. Якщо є підозра, що вихідний набір даних містить викиди, які неможливо усунути, тоді

доцільно обрати іншу, більш робастну, метрику відстані, наприклад Манхеттенську метрику.

Оскільки кластер визначається як набір з одного або більше записів, наступною метрикою буде відстань між кластерами. Розглянемо кластер  $A$ , що містить  $m$  записів  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , та кластер  $B$ , що містить  $n$  записів  $B_1, B_2, \dots, B_n$ . У роботах по кластерному аналізу описаний значний ряд способів побудови такої метрики, найбільш розповсюдженими з яких є наступні.

Мінімальна відстань — відстань між точками двох кластерів  $A_i$  та  $B_j$ , що є найближчими одна до одної

$$\min(\text{distance}(A_i, B_j)), i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.7)$$

Максимальна відстань — відстань між точками двох кластерів  $A_i$  та  $B_j$ , що є найвіддаленішими одна до одної

$$\max(\text{distance}(A_i, B_j)), i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.8)$$

Усереднена відстань — усереднене значення відстаней між всіма парами точок двох кластерів  $A_i$  та  $B_j$

$$\text{Average}(\text{distance}(A_i, B_j)), i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.9)$$

Центроїдна відстань — відстань між центроїдами двох кластерів. Центроїд кластера — вектор, значеннями якого є усереднені значення параметрів всіх записів, що входять до цього кластера. Якщо центроїд кластера  $A$  визначається як:

$$\bar{x}_A = \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{i1}, \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{i2}, \dots, \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ip} \right], \quad (4.10)$$

то центроїдна відстань визначається як:

$$\text{distance}(\bar{x}_A, \bar{x}_B). \quad (4.11)$$

Як було вказано вище, ідея ієрархічної агломеративної кластеризації полягає в тому, що на початку утворюються кластери за кількістю записів у вихідному наборі даних таким чином, що один кластер містить тільки один запис, після чого ітеративно відбувається злиття двох найближчих кластерів в один. Після останньої ітерації отримується один кластер, що містить всі записи.

З метою виділення даних буріння сформульовано наступний алгоритм ієрархічної агломеративної кластеризації:

1. Сформувати  $n$  кластерів (один кластер містить один запис даних буріння);
2. Обравши одну із описаних метрік (7 – 11), обрахувати відстані між кластерами;
3. Об'єднати два найближчі кластери.
4. Повторювати п.2 поки не отримаємо один кластер.

Основним результатом ієрархічної кластеризації є дендрограма, яка показує ієрархічну залежність між кластерами. Виконавши побудову можна зробити висновок про відстань між кластерами, чим вище стовпець тим більше відстань між кластерами, кластеризація виконана у вигляді вкладених груп. Застосовуючи різні методи визначення відстані між кластерами можна отримати різні методи побудови дендрограми.

На рис. 4.4 подано дендрограми, побудовані на основі аналізу вихідного набору даних 226 записів, отриманих під час бурових робіт на свердловині №9 Микуличинська. Використано 8 нормалізованих параметрів, евклідову відстань та методи одиночного зв'язку (а) та повного зв'язку (б).

Метод одиночного зв'язку (single linkage), також відомий як «метод найближчого сусіда», використовує мінімальну відстань між кластерами та схильний на ранній стадії об'єднювати в один кластер записи, що є віддаленими між собою, завдяки ланцюгу проміжних записів.

Метод повного зв'язку (complete linkage), також відомий як «метод далекого сусіда», використовує максимальну відстань між кластерами (відстань між найвіддаленішими записами) та схильний на ранній стадії утворити кластер із записів, що розміщені близько один до одного.

Інші два методи: метод середнього зв'язку (unweighted pair-group method using arithmetic averages), що використовує усереднену відстань між кластерами, та центроїдний метод (unweighted pair-group method using centroids), що використовує центроїдну відстань відповідно, не дозволили сформувати чітко виражені кластери в даних буріння, тому були відхилені.

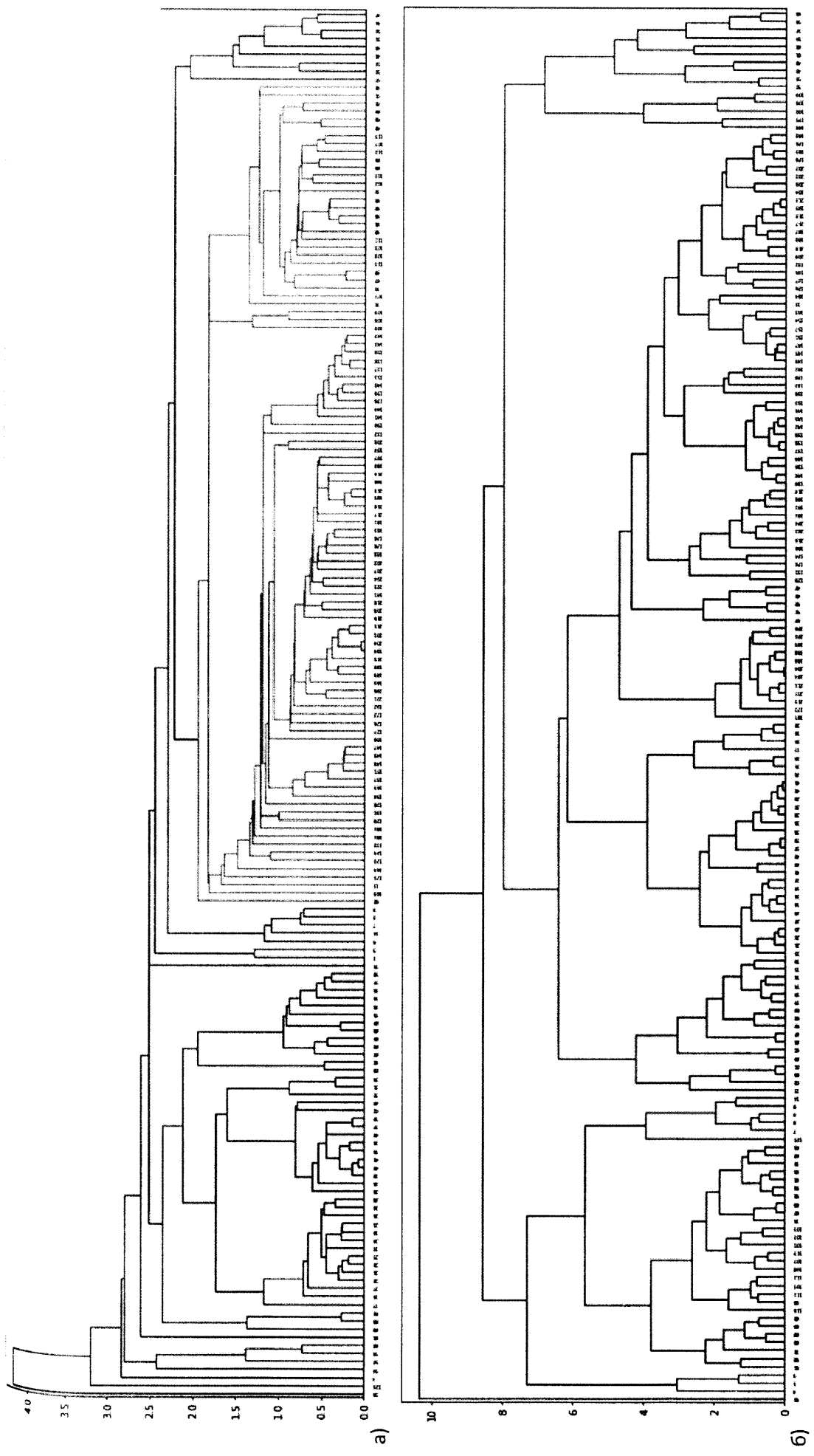


Рис. 4.4. Дендрограми аналізу даних бурових робіт на свердловині №9 Микуличинська, побудовані з використанням методів одиночного (а) та повного зв'язку (б).

Утворена таким чином дендрограма (рис. 4.4) являє собою деревовидну діаграму, що описує процес кластеризації. По осі x відкладаються записи із вихідного набору даних. Подібні записи об'єднуються вертикальними лініями, довжина яких відповідає відстані між ними. Визначаючи значення параметру відсікання по осі y отримуємо набір бажаних кластерів. Візуально на дендрограмі це відповідає проведенню горизонтальної лінії. Записи, що будуть знаходитись нижче лінії відсікання (іншими словами, для яких відстань між записами менша за граничну) будуть відноситись до одного кластера.

Аналіз отриманих дендрограм показав, що використання методу повного зв'язку дає більш чітку картину розподілу записів по кластерах, та не містить великої кількості незгрупованих записів (наприклад записи №№ 56, 125, 54, 4 та ін. на рис. 4.4 а).

В таблиці 4.5 наведено розбиття вихідного набору даних за кластерами, які отримано в результаті кластеризації.

Таблиця 4.5

Результат ієрархічного кластерного аналізу (8 нормалізованих параметрів, евклідова відстань та методи повного зв'язку)

№ кластеру	№ запису, що входить до кластера
1	1, 4, 5
2	6, 7, 8, 9, 14, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 85, 91, 92, 93, 95, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 125
3	13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, ..., 213, 214, 215, 217, 218, 219, 221, 223, 224, 226
4	100, 106, 109, 168, 175
5	48, 49, 50, 53, 54, 57, 58, 60, 61, 62
6	56

Як ми бачимо, обираючи різні метрики для обчислення відстані між записами та використовуючи різні методи визначення відстані між кластерами можна отримати багато різних варіантів групування записів тому підтвердження правильності розбиття записів даних на кластера є наступним важливим кроком кластерного аналізу. Для перевірки того, що проведений кластерний аналіз дійсно відображає певні приховані закономірності, що існують у вихідному наборі даних



доцільно подивитися на отримані результати під іншими кутами з метою підтвердження правильності їх утворення.

З метою інтерпретування значення кожного кластеру було проведено:

- базовий статистичний аналіз записів, що попали в кожен з них, наприклад обрахувати максимум, мінімум та середнє значення кожного з параметрів, за якими здійснювалась кластеризація;
- перевірено та порівняно значення середньоквадратичного відхилення для записів всередині одного кластера та між двома кластерами, що дало змогу підтвердити доцільність такого розбиття;
- здійснено перевірку стабільності кластеризації, яка показала, що ієрархічна кластеризація в загальному має схильність до низької стабільності, перемішування даних або додавання/видалення невеликої кількості записів може суттєво вплинути на результат. До того ж ієрархічна кластеризація є чутливою до викидів в даних.
- здійснено партиціювання — розбиття множини вхідних даних на дві окремих підмножини та проведено кластеризацію одної з них, визначено центроїд для кожного отриманого кластеру та доповнено кластери першої підмножини записами з другої підмножини за принципом: запис з другої підмножини відноситься до кластера, якщо його центроїд є найближчий;
- оцінено кількість отриманих кластерів.

Кластеризація і використанням методу повного зв'язку дозволила сформувати 6 кластерів (рис. 4.4 б та табл. 4.5). Кластеризація і використанням методу одиночного зв'язку дозволила сформувати 13 кластерів, 6 з яких є виродженими кластерами, що містять один окремий запис. Різні методи побудови дендрограм по різному чутливі до метрик відстані між записами. Так методи одиночного і повного зв'язку більш стійкі до змін метрики відстані (наприклад з евклідової до статистичної) за умови, що зберігається відносна впорядкованість. В той час як метод середнього зв'язку є найбільш чутливим до вибору метрики відстані, що може привести до абсолютно інших результатів кластерного аналізу.

Перевірку розбиття записів на кластера по інших параметрах, що не були використанні як параметри кластеризації, не проводилась, оскільки обрані параметри є визначними для опису технологічного процесу буріння.

### **Не-ієрархічна кластеризація даних буріння за алгоритмом k-Means**

Використання ієрархічної кластеризації виглядає привабливим, бо не вимагає вказання наперед кількості кластерів, які будуть отримані в результаті дослідження. Можливість подавати результати у вигляді дендрограм також є перевагою цих методів адже результати в такому вигляді легше зрозуміти та інтерпретувати. Проте існує певна кількість обмежень, вказаних вище, про які варто пам'ятати під час використання. Зокрема, застосування ієрархічної кластеризації на наборі даних з  $n$  записів вимагає обрахунку матриці відстаней розміру  $n \times n$ , що може бути затратно в плані використання пам'яті та часу обчислень. Крім того, ієрархічний алгоритм є однопрохідним. Це означає, що запис даних, помилково долучений на ранній стадії до певного кластера, не може пізніше бути переміщений до іншого кластеру.

Тому для пошуку та виявлення прецедентів в історичних даних буріння крім ієрархічного алгоритму кластеризації було використано не-ієрархічні методи, зокрема k-means, що намагається визначити приналежність кожного запису до конкретного кластеру. Алгоритм k-means є одним з популярних алгоритмів не-ієрархічної кластеризації. Кількість кластерів, які будуть отримано в результаті роботи – є вхідним параметром алгоритму і задається наперед. В загальному, не-ієрархічні методи є більш ефективні для реалізації і тому їх використання має переваги для аналізу великих наборів даних.

Ідея не-ієрархічної кластеризації полягає в тому, що на початку обирається бажана кількість кластерів  $k$ , які будуть сформовано по завершенні роботи алгоритму та здійснюється ітеративний обхід даних, кожен запис з яких за певним критерієм приписується до певного кластеру. Іншими словами, метою такого підходу є розподіл вихідний набір даних на  $k$  кластерів таким чином, що б кожен кластер був якомога одноріднішим, в межах обраного критерію.

Загальноприйнятим критерієм розсіювання записів в середині кластеру, що використовується в неієрархічному аналізі, є сума відстаней (або сума квадратів евклідових відстаней) записів до центроїда кластеру. Обрахунок такої метрики для великої кількості записів в загальному є обчислювально-складною задачею, тому замість точного визначення суми відстаней використовують швидкі евристичні алгоритми оцінювання, які дають можливо не оптимальні проте непогані результати.

Було сформульовано алгоритм k-means для виявлення прецедентів в історичних даних буріння:

Задати число бажаних кластерів  $k$ , та їх центроїди.

На кожному кроці ітерації кожен запис даних призначається до одного кластеру, відстань до центроїду якого є меншою.

Перерахувати значення центроїдів для кластерів, які набули нових, або втратили існуючі записи. Повторити крок 2.

Припинити роботу коли додавання нового запису до кластеру збільшує показник розкиду його елементів.

Робота алгоритму k-means починається з початкового довільного розбиття записів на визначену кількість кластерів. Наступні кроки модифікують вміст кластера таким чином, щоб мінімізувати відстань кожного запису, що в ньому знаходяться, до центроїду цього кластера. Модифікація полягає у перерозподілі кожного запису до найближчого з  $k$  центроїдів, що були визначені на попередньому кроці. Це призводить до утворення нової групи записів, сума відстаней кожного з яких до їх центроїда є меншою ніж на попередньому кроці. Після обрахунку нового значення центроїду робота алгоритму продовжується, допоки відбувається покращення критерію розсіювання.

Важливим питанням є вибір кількості кластерів для початку аналізу. Такий вибір може бути зроблений на основі попередніх досліджень, міркувань або практичних обмежень. Попередні дослідження за методами ієрархічної кластеризації показали, що в даних буріння можна виділити від 4 до 10 кластерів, отже алгоритм було перезапущено кілька разів із бажаною кількістю кластерів  $k$  із

цього діапазону та випадково згенерованими початковими значеннями центроїдів для них. На рис. 4.5 показано, як змінюється неоднорідність кластера (середня відстань між записами, що відносяться до одного кластера) в залежності від кількості заданих кластерів. Із отриманих результатів видно, що із збільшенням бажаної кількості результуючих кластерів середня відстань між елементами одного кластеру зменшується не суттєво при  $k > 4$ .

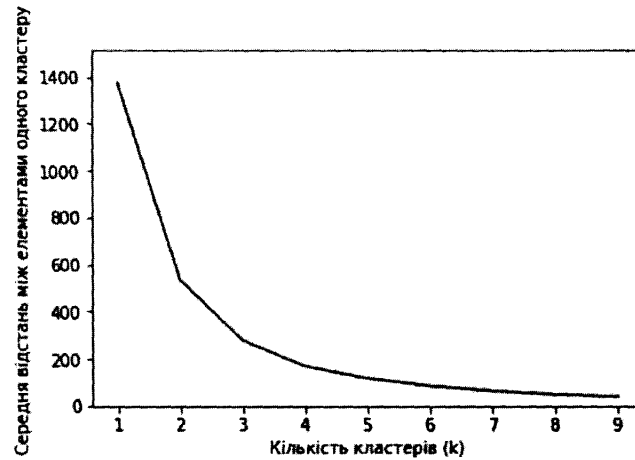


Рис. 4.5. Обґрунтування вибору кількості кластерів на основі середньої внутрішньо-кластерної відстані

Результати кластерного аналізу даних буріння, отриманих під час бурових робіт на свердловині №9 Микуличинська, за методом алгоритм k-means за 8-ма нормалізованими параметрами для заданої кількості кластерів  $k = 4$  подано у вигляді центроїдів (табл. 4.6, рис. 4.6), а також у вигляді таблиці розподілу записів по кластерах (табл. 4.7)

Таблиця 4.6

Отримані значення центроїдів кластерів

№ кластеру	0	1	2	3
<b>Length</b>	3.074	-0.210	-0.264	-0.150
<b>Time</b>	1.325	-0.104	-0.565	0.455
<b>Velocity</b>	1.559	-0.249	0.589	-0.609
<b>BitLoad</b>	0.578	0.328	-1.020	0.366
<b>StandPressure</b>	-0.852	-0.168	1.138	-0.714
<b>RotationSpeed</b>	-0.763	0.541	-1.375	0.725
<b>Density</b>	0.334	-0.656	0.184	0.908
<b>WaterBack</b>	0.701	-0.813	-0.017	1.318

Рис. 4.6 дає змогу візуально оцінити яким чином здійснювався розподіл даних по кластерах. Так, кластер №0 характеризується найвищими часом швидкістю та довжиною проходу, в той час як кластер №2 виділяється найнижчими показниками навантаження на долото при найвищому тиску на стояку.

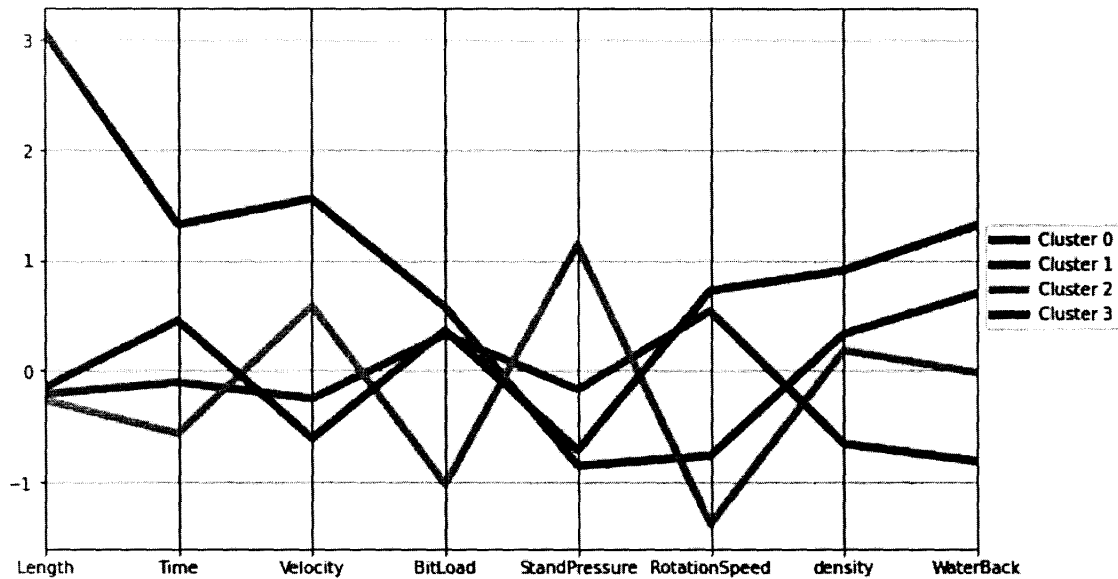


Рис.4.6. Отримані значення центроїдів кластерів

Таблиця 4.7

Результат кластерного аналізу k-means (8 нормалізованих параметрів, k = 4)

№ кластеру	№ запису, що входить до кластера
0	4, 48, 50, 53, 54, 56, 57, 58, 60, 61, 100
1	13, 46, 47, 49, 51, 52, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 149, 151, 153, 154, 156, 157, 159, 161, 163, 164, 165, 166, 168, 170, 172, 174, 175, 176, 178, 180, 181, 183, 184, 188, 189, 191, 192, 194, 195, 196, 197, 198, 200, 201, 203, 204, 207, 209, 210, 211, 213, 214, 215, 217, 218, 219, 221, 223, 224, 226
2	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90
3	1, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 85, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 125

Оцінка отриманих результатів показала, що кластери, які було отримано для різних значень k, не є вкладеними, як це було у випадку ієрархічної кластеризації.

А також відсутні «вироджені» кластери, які містять малу (1 – 3) кількість записів. Утворені таким чином кластери є основою для формування прецедентів.

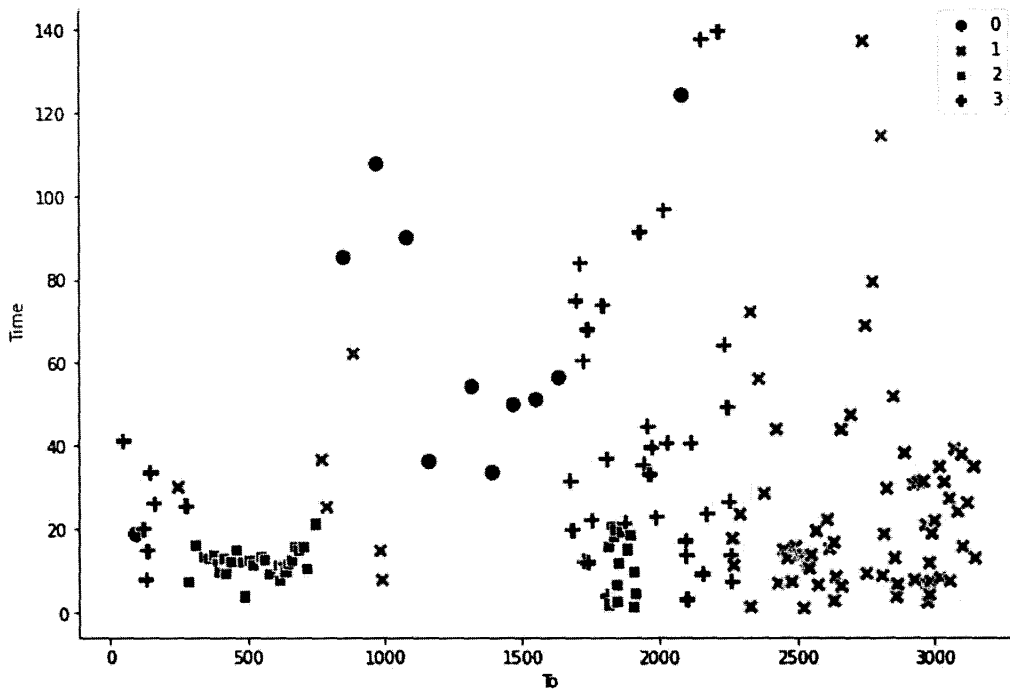


Рис. 4.7. Кластерний розподіл даних буріння відображений в координатах часу (вісь у) та глибини (вісь х) технологічної операції

Завершальним етапом практичної демонстрації роботи кейс-методу є створення класифікатора, що буде здійснювати розподіл нових даних та визначення, до якого прецеденту (кейсу) вони відносяться. Для цього можна скористатися алгоритмом  $k$ -найближчих сусідів ( $k$ -Nearest Neighbors), ідея якого полягає в тому, що з тренувального набору даних (training data set історичного набору даних, які було використано на етапі кластеризації) необхідно встановити  $k$  записів, таких, що вони будуть подібні до того одного нового запису, який необхідно класифікувати.

Проте, маючи значення центроїдів встановлених кластерів, достатньо визначати відстань від нового запису до кожного з них. Центроїд, до якого така відстань буде найкоротшою і буде визначати прецедент, до якого слід віднести новий запис. Це значно скоротить час обрахунків. При цьому для ефективного управління процесом буріння необхідно підтримувати значення режимних параметрів відповідно актуальним властивостями породи. У зв'язку з цим, крім алгоритму функціонування, інтелектуальна система управління повинна включати

входи, засновані на постійному моніторингу всіх необхідних характеристик об'єкта керування. Інтелектуальна система - це система з програмним забезпеченням, що має можливість за допомогою обчислювальних засобів налаштовувати свої параметри в залежності від стану зовнішнього середовища. Міркування, що базуються на конкретних наборах параметрів, мають потенціал подальших досліджень методів застосування в бурінні штучного інтелекту загалом та системи підтримки прийняття рішень, заснованої на знаннях.

Реалізація запропонованих моделей у вигляді програмного рішення, дозволяє досягти оптимізувати ТПБ в розрізі питань безпеки, шляхом зниження людського фактору в процесі буріння та забезпечення постійного контролю; в аспекті ефективності - забезпечення росту механічної швидкості буріння, за відносної незалежності від кваліфікації оператора, ґрунту, чи траєкторії буріння, підвищення якості формування стовбуру, зниження часу на інтерпретацію даних; з погляду зниження затрат – забезпечує збільшення часу використання ґрунторуйнуючих інструментів, виключає виконання повторних операцій, забезпечує успішний спуск обсадної колони, що загалом знижує строки будівництва колони.

#### **4.3. Ефективність підтримки прийняття рішень засобами інтелектуальної системи**

Прийняття рішень щодо технологічного процесу буріння базується на методах основаних в першу чергу з інженерним досвідом та літологією родовища. В основі технологічної структури виробничого процесу є оператори, які зазвичай мають досвід та практичні знання, але яким загалом бракує глибини та широти навчання.

Іноді затримки часу можуть спричинити мінливість атрибутів відповідності технологічного процесу буріння, а також загальну втрату продуктивності та прибутку. Розслідування аварій зазвичай вказують на недоліки у процесі прийняття рішень на певній стадії технологічного процесу. Це призводить до

непослідовних, а іноді і нестабільних результатів виробництва. Більше того, серед операційного персоналу спостерігається природна плинність. Таким чином, інтелектуальна підтримка прийняття рішень є одним із заходів, який може запобігти аваріям та забезпечити безперебійний процес буріння.

Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень оператором, яка містить набір інтелектуальних засобів, дозволяє усунути наведені проблеми. Впроваджуючи аналітику та інструменти інтелектуальної підтримки прийняття рішень дає можливість краще використовувати дефіцитний людський досвід, сприяти покращенню експлуатаційних показників та забезпечувати відповідність стандартам безпеки.

Інтелектуальна функціональність підтримки прийняття рішень є частиною архітектури СІМ, а також архітектури розподіленої системи управління. Функціонал інтегрується так, щоб отримати поточний статус, цілі, завдання та обмеження. Ця інформація повинна бути автоматично розміщена в базі знань, що підтримує прийняття рішень оператором, не вимагаючи втручання оператора або регулярного обслуговування. Ця інтелектуальна функціональність створює середовище, яке підтримує, реагує та актуальне у своїх рекомендаціях.

Вимоги та атрибути системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень знаходяться в 4 сегментах: якість, організація, обмеження, модель.

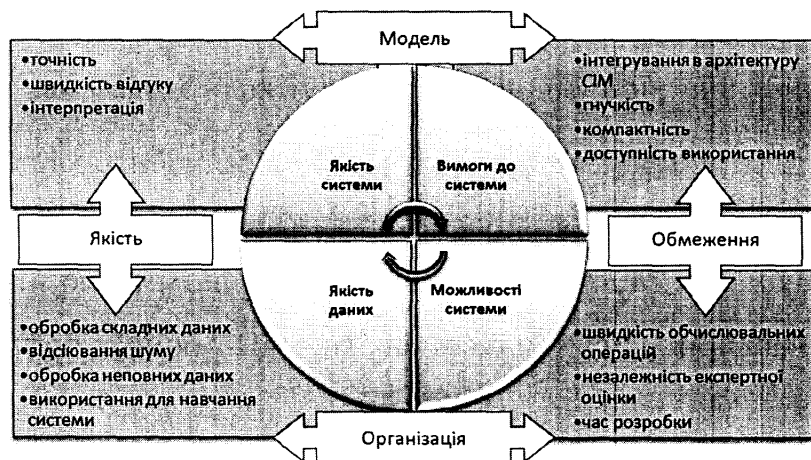


Рис.4.8. Вимоги та атрибути системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень

Складність рішення при бурінні зумовлена кількома факторами; великі підземні невизначеності, неточні та ненадійні вимірювання, відсутність прогнозової моделі,



суперечливі цілі між задіяними технічними дисциплінами та труднощами, з якими стикаються люди рішення в ситуаціях, обмежених часом.

Абсолютна точність моделювання мало досяжна для ТП буріння, що стимується різними факторами, наприклад обч потужностями, в роботі іде мова про апроксимацію, наближення результатів моделі до поставленої мети).

Величина помилки між очікуваним значенням виходу і отриманим, обчислена з використанням квадратичної функції помилки (квадрат різниці між дійсністю і тим що ми передбачили).

При прийнятті рішень використовують наступні теорії вибору:

1. Теорія раціонального вибору, яка передбачає чітко визначені та визначені ситуації, чіткі ролі та обов'язки, чітко визначені альтернативи та необмежений час та ресурсів.

2. Теорія обмеженої раціональності, яка передбачає чітко визначену та визначену ситуацій, але що враховує, що ролі та обов'язки можуть бути менш чіткими, це альтернативні рішення можуть бути розроблені лише частково, а також час і ресурси обмежена.

3. Теорія прийняття рішень, що базується на емпіричних дослідженнях прецедентів технологічного процесу - натуралістичне прийняття рішень.

Натуралістичне прийняття рішень - це напрям досліджень, який є найбільш орієнтованим щодо рішень, коли вони розгортаються в реальних умовах і являє собою перехід від загального підходу до прийняття рішень до вирішення підходу, заснованого на знаннях особи, що приймають рішення зі значним досвідом.

Інтелектуальна підтримка прийняття рішення враховує такі характеристики процесу буріння, аварійних ситуацій зокрема, як:

- 1) невизначені цілі та неправильно структуровані завдання,
- 2) невизначеність, двозначність та відсутність даних,
- 3) зміна та конкуруючі цілі,
- 4) динаміка та постійні зміни умови,
- 5) цикли зворотного зв'язку дії (реакції в реальному часі на змінені умови),
- 6) стрес у часі,

- 7) високі ризики,
- 8) організаційні цілі та норми,
- 9) рішення на основі досвіду.

Моделі імовірнісних рішень розроблені для цілого ряду типових проблем буріння, наприклад, зміна долота, корпусу, напливу газу тощо.

Рішення з інтелектуальною підтримкою поєднує в собі визначення статусу буріння, ризику та прогресу на високому рівні з інструментами прийняття рішень, що базуються на загальній платформі соціальної співпраці, інтегрованої із існуючою галузевою стандартною ІТ-інфраструктурою компанії-оператора і базується на технологіях мереж, математичних моделях прийняття рішень та візуалізації даних.

Більшість операторів проходять певний ступінь навчання та ознайомлення з процесами, що з часом покращує їхні навички, судження та досвід. Однак вага інформації може бути значною, неорганізованою, нецілеспрямованою та складною для використання під час стресу в нестандартних ситуаціях.

Доцільно говорити про рішення, коли між розглядом і висновком існує проміжок часу та дії або результату рішення. Це проміжок часу варіюється. Типи інформації, що використовуються для підтримки прийняття рішення слід розглядати як імовірнісну та фактичну [73].

Прийняття великих і малих рішень в режимі реального часу - це частина кожного робочого процесу. На загальному рівні існує три різні ситуації прийняття рішень (стратегічний, оперативний, миттєвий) залежно від типу інформації, яка була використана як основа для прийняття рішень.

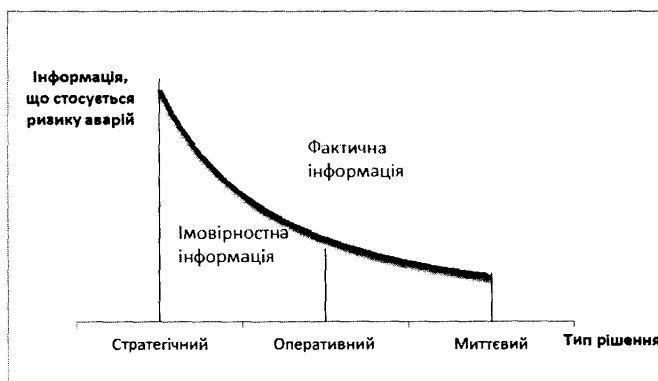


Рис. 4.9. Інформаційна основа для рішень, пов'язаних з ризиком аварій

Для стратегічних довгострокових рішень значна частина основи для розгляду основних ризиків аварії буде імовірнісною інформацією.

Оперативні рішення базуються на поєднанні ймовірнісної та фактичної інформації. Миттєві рішення, прийняті операторами, здебільшого базуються на фактичній інформації. Застосування різних типів інформації, описаних вище, має деякі наслідки для того, як рішення можуть бути підтримані.

Стратегічні, оперативні та миттєві процеси прийняття рішень різні, не тільки щодо часового горизонту, але й коли справа стосується типу інформації, яка є застосовується та тип персоналу, який бере участь у процесах.

Інтелектуальна підтримка прийняття рішень має принципові відмінності:

- покращення фактична та імовірнісна інформаційна бази для прийняття миттєвих рішень;
- рішення підтримується з визначенням прихованих зв'язків між операціями технологічного процесу.

Технологія експертних систем забезпечує загальну інтелектуальну логіку та структуру управління, що дозволяє цій програмі зосередитись на підтримці оператора, враховуючи певний стан. Важливим є ведення статистики та історії проблем, надані коригувальні дії та подальші результати процесу. Ця інформація є дуже цінною як джерело аналізу для покращення загального виробничого середовища.

База знань, забезпечує такі функціональні можливості:

- конкретна логіка підтримки прийняття рішень, враховує поточний виробничий стан;
- презентує альтернативи, засновані на дослідженні інтерактивного оператора.
- здійснює статистичний та історичний аналіз, що підтримує функцію автономної підтримки прийняття рішень для вдосконалення та впорядкування операцій;
- формує послідовність реакцій, що пропонується оператору;
- уможливорює інтелектуальне отримання допоміжної інформації в інтернеті

та в інтерактивному режимі.

- поширює дефіцитні виробничі знання аж до базового нижнього рівня виробництва.

Інтелектуальна функціональність підтримки прийняття рішень оператором - це аналітична проблема відкритої форми. Це не проблема, яку можна адекватно описати набором одночасних алгебраїчних рівнянь. Вона вимагає об'єднання різномірних джерел інформації, які мають принципово різне представлення, яке потрібно розумно узгодити для побудови когнітивного та інтегрованого інтелектуального застосування.

При оцінці та впровадженні ІС слід враховувати такі критичні моменти:

- різницю форми та стандартів між розробниками та користувачами для написання специфікацій;
- у специфікації можуть бути відсутні деякі важливі функції або вимоги;
- точність і правильність розуміння "специфічних визначень або вимог кінцевого користувача, щоб уникнути заниження або завищення ціни;
- процес оцінки вимагає порівняння ознак, які важко визначити кількісно.

Тому важливим є визначення набору методів та тестів для оцінки відповідності та оцінки продуктивності PCS з точки зору функцій, додатків, статичних та динамічних характеристик та сумісності.

Питання слід розглядати в таких напрямках:

- керівні принципи, що оцінюють технічні специфікації, включаючи всі функції та послуги, необхідні PCS для певного виробництва.
- процедури виробничого випробувального приймання.

В якості тестового стенду використано тренажер drillsim500, який точно імітує ТП буріння на основі набору методів та тестів для оцінки та оцінки продуктивності системи управління технологічним процесом для даного додатку з точки зору функцій, компонентів, статичних та динамічних характеристик та сумісності проведено аналіз точності запропонованих моделей. Програмне рішення засноване на знаннях, пройшло тестування, що і будь-яка традиційна програма.

Основою системи представленої в дослідженні є застосування нового підходу при розробці таких систем: орієнтація в першу чергу на дані та її завдання. Застосування підходу, в якому основою є база параметризованих кейсів ТП буріння підтвердили його ефективність, дозволивши збільшити продуктивність операторів, зменшити процедурні помилки операторів.

Однією з головних переваг інтелектуальних моделей є розумне використання виробничих даних для виявлення прихованого потенціалу продуктивності та ефективнішого використання ресурсів.

У цьому контексті обробка великої кількості даних, отриманих в ході виробничої діяльності, підсилених змодельованими випадками професійних симуляторів сприяє розв'язку проблем в промислових середовищах. Інформація та дані тісно взаємопов'язані, запропонований підхід обробки даних дозволяє поєднати операційні та інформаційні технології.

Вивчення матеріалів з проблем побудови ефективних і надійних систем диспетчерського управління показало традиційне застосування для побудову систем диспетчеризації моделей hardware-centered (або bottom-up, знизу-вгору), при яких при побудові системи основна увага приділялася вибору та розробки технічних засобів (обладнання та програмного забезпечення), остані розробки орієнтуються людину-оператора (диспетчера) human-centered design (або top-down, зверху-вниз).

Всі сучасні SCADA, як вітчизняні, так і зарубіжні, мають великий функціонал для цього класу програм, тому основна увага пропонованого рішення це націленість на застосування штучного інтелекту. За допомогою інтелекту ефективно аналізуються дані та здійснюється їх цілеспрямована оцінка, що надає можливість підтримки прийняття рішення та ефективну діагностику для ускладнень, а відповідно уникнути простої та незаплановані затрати.

Головним питанням актуальності даного дослідження є потреба кодифікувати та автоматизувати дефіцитні знання, якими володіють обмежена кількість ключових спеціалістів виробництва на прикладі нафтогазової галузі.

Підхід, що лежить в основі ШІ, полягає в тому, щоб спочатку зібрати якомога більший обсяг даних для підвищення точності висновків найважливішими проблемами будуть надійність та терміновість. Кількість і якість даних є критичними вимогами при навчанні. Найважливішими елементами для глибокого навчання, є визначення справді необхідних даних виходячи з їх якості та точності. У цьому дослідженні ефективні параметри вперше були вилучені зі структурованого звіту, підготовленого для свердловини Микуличинська №9 на основі методу аналізу даних. Потім, шляхом проведення зустрічі з експертами буріння та використання методів аналізу даних, були визначені ваги параметрів. Нечітка система була використана для порівняння схожості поточного випадку та попередніх випадків, і система була реалізована засобами бібліотек Python.

Разом із її більш традиційними можливостями моделювання на основі знань, успішність системи визначається застосуванням засобів навчання.

З усієї сукупності аналізованих реальних випадків, є випадки з критичними значеннями, які не вирішені адекватно. Середній показник вирішення проблем варіюється в межах 70-90 відсотків конкретних випадків виникнення проблем. Опис граничних випадків, вивчення нових аналогів призводить до того, що система поступово вдосконалює свою точність при обробці всіх випадків в заданій області.

### **Висновки до четвертого розділу**

1. Визначено особливості технологічного процесу буріння як об'єкту застосування систем підтримки прийняття рішень, яка забезпечує інтелектуальну діагностику, виправлення та аналіз, що дозволило виділити такі специфікації як: виконавчі механізми і давачі, контролери, засоби управління знаннями, засоби візуалізації, засоби на основі нечітких даних та дозволило інтегрувати в систему такі складові як база даних, система управління базою моделей, інтерфейс користувача, система повідомлень для забезпечення підтримки прийняття рішення згідно представленої схеми архітектури автоматизації процесу буріння..

2. Виконано оцінку застосовності методів експертних систем при побудові інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в процесі буріння. В

результаті чого визначено, що проектована система прийняття рішень повинна підтримувати неструктуровані або напівструктуровані рішення, при чому, не залежно від ступеня їх структурованості вимагається участь оператора технологічного процесу буріння в процесі прийняття рішення. Виділено необхідність реалізації систем підтримки прийняття рішень на основі баз знань, що дозволить забезпечити інтерфейс взаємодії системи з оператором технологічного процесу буріння під час вирішення технологічних проблем, підтримку доступу до релевантної інформації, структурування, класифікацію та ініціалізацію технологічних проблем, реалізацію ефективного логічного висновку.

3. Розроблено інтелектуальну модель прийняття оптимальних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин на основі оперування з цільовими функціями обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів, що забезпечує інтелектуальну підтримку прийняття рішень при встановленні значень керованих параметрів технологічного процесу буріння. Основою створеної моделі є деревоподібна модель, яка забезпечує високий рівень аналізу невизначеностей і доцільностей на шляху побудови найкращого оптимального рішення, шляхом обчислення очікуваної доцільності рішення, що дозволяє кращим рішенням вибрати саме рішення з максимальним значенням очікуваної доцільності.

4. Представлено оцінку функціональності проектованої моделі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в процесі буріння. Створена система на основі списку визначених цілей, як результатів обчислення цільових функцій виконує пошук оптимального рішення у вигляді набору значень керованих змінних процесу буріння нафтових і газових свердловин, що, відповідно, задовольняє накладеним на технологічні параметри обмеженням.

5. Використано методи класифікації, зокрема кластерний аналіз, для якого здійснено вибір метрики, за якою здійснено розрахунки відстаней між записами, що дає можливість пошуку та виявлення прецедентів в історичних даних при побудові інтелектуальних моделей, а відповідно здійснення діагностики відхилень в ході процесу та рішення щодо вжиття коригувальних дій.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи поставлено та вирішено науково-практичну задачу в галузі автоматизації процесів керування – на основі баз параметризованих кейсів розроблено інтелектуальні моделі оптимізації характеристик буріння і знання-орієнтовану систему підтримки прийняття рішень керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин.

В результаті виконання роботи отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану моделювання технологічних процесів, засобів оцінки і інтерпретації результатів моделювання складних невизначених процесів, зв'язків компонентів системи. Висвітлено базові характеристики при моделюванні для забезпечення цілісного сприйняття технологічного процесу, а також будь-якої ступені його деталізації. Висвітлено сучасні методи моделювання, що використовуються при розробці автоматизованих систем управління і тренажерів промислових установок, шляхи розробки їх математичного забезпечення і деякі аспекти створення ефективних програмно-комп'ютерних комплексів. Розглянуто ефективність використання тренажерів як засіб проведення наукового експерименту. Визначено обов'язкові складові частини тренажерів і критерії якості тренажерів. Проведено дослідження існуючих технічних рішень систем класу «Бурові тренажери». Зроблено висновки щодо практичних аспектів використання сучасних інженерних рішень симуляторів буріння.
2. Визначено необхідні і достатні умови оптимізації основних показників адекватної математичної моделі процесу буріння для проектування інтелектуальної системи управління;
3. Розроблено структуру баз даних з параметрами, що охоплюють область допустимих значень процесу буріння. Представлено застосування методів машинного навчання до завдань аналізу даних, пов'язаних із процесом буріння та використання інтелектуальної обробки даних з врахуванням історичної



інформації для створення окремих компонентів інтелектуальної системи прийняття рішень.

4. Розроблено структуру багатопараметричних кейсів, визначено вагу взаємозв'язків, удосконалено методику визначення багатфакторних взаємозалежності режимних параметрів, що використовуються при прийнятті рішень технологічного процесу буріння та впливу на критерій рівня ефективності рішення;
5. Сформовано концептуальні моделі процесу роботи оперативного і диспетчерського персоналу, що задіяні в технічних процесах буріння НГС, що враховує необхідність досягнення великого числа цілей, яка призводить до виникнення багатокритеріальної ситуації при прийнятті рішень. Для реалізації основних функцій системи використано об'єктно-орієнтоване моделювання даних і знань, міркування на основі моделей і накопиченого досвіду, а також математичне моделювання. Об'єктно моделювання забезпечує опис об'єкта дослідження в найбільш природних термінах розглянутої предметної області. Дослідження методу міркування на основі досвіду здійснено на основі даних ПАТ «Укрнафта», визначено, що підтримка для прийняття рішення здійснюється за короткий проміжок часу без глибоких знань про процес зміни технічного стану процесу. Міркування на основі моделі забезпечують можливість адаптації отриманого за аналогією рішення або вироблення принципово нового рішення, але вже із залученням більш глибоких знань про явища, що супроводжують процес зміни технічного процесу буріння. Для обчислення окремих параметрів об'єкта дослідження використано наявні математичні моделі (обчислювальні процедури), що підвищують точність рішення. У дослідженні, проаналізовано два методи розширення знання-орієнтованої системи. Перша використовує дані про технологічний процес буріння змодельовані засобами тренажера, що розширює набір прецедентів. Друга, використовує більш цілеспрямований підхід, при якому особливо наголошувались першопричини ситуації. Використано два різні механізми вимірювання подібності, лінійний та семантичний. Експерименти проводились

у галузі буріння нафтових свердловин, зокрема проблем, що виникають в ході технологічного процесу буріння. Дослідження показало, що інтеграція різних моделей міркування покращує міркування та процес пошуку оптимального рішення.

6. Імплементовано моделі опрацювання сукупності поточних даних про хід процесу буріння нафтових і газових свердловин засобами обчислювальної техніки на основі теорії автоматизації, методів обробки та аналізу даних, що враховує критичність показника об'єму даних та забезпечило необхідний рівень опрацювання даних. При цьому здійснено кластеризацію даних буріння свердловини №9 Микуличинська із використанням агломеративного ієрархічного методу, при цьому проведено нормалізацію даних та k-means алгоритм, для якого здійснено обґрунтування вибору кількості кластерів на основі середньої внутрішньо-кластерної відстані.
7. Виконано впровадження результатів дисертаційного дослідження та підтверджено ефективність запропонованих методів та рішень, отримані результати дослідження прийняті до впровадження і застосовуються у навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Методи машинного навчання на перших етапах свого розвитку служать системою рекомендацій, що допомагає інженерам по бурінню вибирати оптимальні параметри для досягнення найвищої швидкості і безаварійності буріння, що згодом поліпшить техніко-економічні показники процесу буріння в цілому. У майбутньому ці методи можуть стати базою для створення автономних автоматизованих бурових систем.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Нова Енергетична стратегія України до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>
2. Stanisław Dubiel, Barbara Uliasz-Misiak Analiza decyzji technologicznych podejmowanych w zakresie zarządzania złożem węglowodorów przy dowiercaniu, opróbowaniu i udostępnianiu złóż Przegląd Górniczy 2014; 70 (12) : 106-113.
3. Семенцов Г. Н., Гутак О.В. Моделювання та ідентифікація процесу буріння для задач оптимізації управління: монографія / Г.Н. Семенцов, О.В. Гутак – Одеса: Купрієнко СВ, 2014 – 295 с.: іл., табл.
4. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Столяров В.Е. (2020b). Роль информации в применении технологий искусственного интеллекта при строительстве скважин для нефтегазовых месторождений. Научный журнал Российского газового общества, 3(26), С. 22–37.
5. Рябчиков С.Я. Оптимизация режимных параметров при бурении скважин упрочненным алмазным породоразрушающим инструментом/ С. Я.Рябчиков // Известия ТПУ. — 2011. — Т. 318, № 1 : Науки о Земле. — С. 73-77.
6. Царьков А. Ю. Совершенствование технологии промывки скважин путем применения полифункциональных реагентов на основе таллового пека, 2019 [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://gubkin.ru/diss2/files/Dissertation\\_Tsarkov\\_AY.pdf](https://gubkin.ru/diss2/files/Dissertation_Tsarkov_AY.pdf)
7. Mohamed Khodja Malika Khodja-Saber Jean Paul Canselier Nathalie Cohaut Drilling Fluid Technology: Performances and Environmental Considerations November 2010 [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/221909607\\_Drilling\\_Fluid\\_Technology\\_Performances\\_and\\_Environmental\\_Considerations](https://www.researchgate.net/publication/221909607_Drilling_Fluid_Technology_Performances_and_Environmental_Considerations) 09.09.20
8. Мнацаканов В. А. Технологические проблемы строительства глубоких скважин и методы их системного решения, 2010.

9. Грибанов М. В. Совершенствование и реализация методик и программных средств по оптимизации параметров бурения скважин, 2015.
10. Галямин В.П. Эффективность применения телеметрических систем при бурении горизонтальных скважин // Современные научные исследования и инновации. 2018. № 2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2018/02/85793> (дата обращения: 02.02.2020).
11. Эфендиев Г.М, Алиев С.А., Сарбопеева М.Д., Агаева К.К., Кирисенко О.Г. Принятие решений при выборе долот и режимных параметров бурения в зависимости от характера исходной информации г.м., геоинформатика, 2016, №3 (59).
12. Yanlong Li, Lei She, Lifeng Wen, Qiang Zhang Sensitivity analysis of drilling parameters in rock rotary drilling process based on orthogonal test method. Publication: Engineering Geology. Publisher: Elsevier. Date: Available online 5 March 2020.
13. Білецький В., Сергєєв П., Фик М., Козирець С. Моделювання в нафтогазовій промисловості Journal homepage: <http://library.kpi.kharkov.ua/> Volume 1 (2018), pp. 86-98 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/index.php/2616-8839/article/view/153570/153125>.
14. Drilling Data Analysis and Evaluation for Agbada and Soku Wells Using ‘Matching the Area Average’ Performance Approach Onuorah Joshua Nwani\* American Journal of Geophysics, Geochemistry and Geosystems Vol. 4, No. 2, 2018, pp. 13-28
15. Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., Гапоненко А. А., Гапоненко І. А., Паранюк Д. І. Методи оптимізації процесу буріння свердловин // Гірничий вісник, вип. 107, 2020, с. 96-101.
16. Chiranth Hegde, Hugh Daigle, Harry Millwater, Ken Gray Analysis of rate of penetration (ROP) prediction in drilling using physics-based and data-driven models. Publication: Journal of Petroleum Science and Engineering Publisher: Elsevier. Date: November 2017.

17. Balaji, K. et al. "Status of Data-Driven Methods and their Applications in Oil and Gas Industry." (2018).
18. G. Gola, R. Nybo, D. Sui, and D. Roverso, Improving management and control of drilling operations with artificial intelligence, SPE Intelligent Energy International (Utrecht, The Netherlands), Society of Petroleum Engineers, March 27–29 2012.
19. Rahmanifard, H. and T. Plaksina. "Application of artificial intelligence techniques in the petroleum industry: a review." *Artificial Intelligence Review* (2018): 1-24.
20. Hegde, Chiranth et al. "Performance Comparison of Algorithms for Real-Time Rate-of-Penetration Optimization in Drilling Using Data-Driven Models." *Spe Journal* 23 (2018): 1706-1722.
21. Hegde, C. et al. "Fully coupled end-to-end drilling optimization model using machine learning." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 186 (2020): 106681.
22. Ahmed, Omogbolahan S. et al. "Computational intelligence based prediction of drilling rate of penetration: A comparative study." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 172 (2019): 1-12.
23. Barbosa, Luis Felipe et al. "Machine learning methods applied to drilling rate of penetration prediction and optimization - A review." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 183 (2019): 106332.
24. Шекета В.І. Методологія моделювання підтримки прийняття рішень у знання-орієнтованих інформаційних технологіях керування бурінням 05.13.06 – інформаційні технології Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2018.
25. Копистинський Л. О. Автоматизація процесу керування навантаженням електробурів з використанням методу коригування структури системи. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.07 «Автоматизація процесів керування». – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2018.

26. В. М. Мойсишин, Р. Б. Щербій, В. А. Турчин [та ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – № 3. – С. 180–187.
27. Bloch, M., & Jacinto, C. (2003). Risk analysis for optimizing oil well drilling and completion schedules. In Proceedings of Canadian international petroleum conference. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/2003-081.
28. Cortez, L. C. S., & Pessoa, A. A. (2009). Otimização e Simulação de Estratégias de Perfuração de Poços de Petróleo: Uma Abordagem em Programação Dinâmica Estocástica (Optimization and Simulation Strategies of Oil Well Drilling: An Approach to Stochastic Dynamic Programming). In Proceedings of XLII SBPO – Brazilian symposium on operations research (pp. 1–12). Bento Gonçalves, Brazil: SOBRAPO.
29. G.V. Buslaev, M.M. Pavlov, A.A. Kunshin, V.V. Starikov, G.M. Sergeev Saint-Petersburg Mining University Application of artificial neural networks for predicting optimal drilling parameters. Scientific journal of the Russian gas society 2(21)-2019 p.51-55.
30. Sheketa V. Case-based modelling of data and knowledge // Sheketa V., Chesanovsky M., Styslo T., Romanyshyn Y., Poterailo L. // 14-а міжнародна науково-практична конференція “ Математичне та імітаційне моделювання систем – МОДС 2019” .– Чернігів.– 2019.–С.177–181.
31. Варшавский П.Р. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2.
32. Shokouhi, S. et al. “An overview of case-based reasoning applications in drilling engineering.” *Artificial Intelligence Review* 41 (2014): 317-329.
33. Pollock, J. et al. “Machine Learning for Improved Directional Drilling.” (2018).
34. Разработка процесса принятия решений при моделировании и проектировании месторождений углеводородов на основе вывода по прецедентам. Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: материалы VIII Международной научно-технической

- конференции; отв. ред. О. Н. Кузяков. – Тюмень: ТИУ, 2019. – 324 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.tyuiu.ru/wp-content/uploads/2015/08/novye-informatsionnye-tehnologii.pdf>
35. С. Бороздин, А.Н. Дмитриевский. Система для прогнозирования осложнений в бурении на основе искусственного интеллекта.//Система для прогнозирования осложнений в бурении на основе искусственного интеллекта. At: SPE Annual Caspian Technical Conference, 21-22 October, 2020.
  36. Гончаров А.С. Алгоритмическое обеспечение интеграции данных о состоянии бурения скважин, получаемых из распределенных гетерогенных источников / А. С. Гончаров, А. О. Савельев, В. М. Саклаков // Электронные средства и системы управления материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции, 28-30 Ноября 2018, Томск: в 2 ч.: / ТУСУР. — 2018 . — Ч . 2 . — С. 22-26.
  37. Чесановський М.С. Особливості контролю параметрів процесу буріння в контексті підтримки прийняття релевантних рішень / Чесановський М.С., Шекета В.І., Процюк В.В. // Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”. – 2018.
  38. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В. Типовой компьютерный тренажерный комплекс для обучения операторов ТП // Автоматизация в промышленности. 2003. № 2. С. 9-14.
  39. Дозорцев В.М. Имитационные модели технологических процессов в компьютерных тренажерах для обучения операторов (Москва) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod07/doklad/68.html>
  40. Дарьин А.А. Некоторые аспекты моделирования при создании интерактивных средств обучения операторов: статья в сборнике трудов конференции, 2020 С. 116-118.
  41. Дозорцев В.М., Кнеллер Д. В., Левит М. Ю. О проблеме адекватности тренажерных моделей технологических процессов//Труды междунар.

- конференции «Идентификация систем и задачи управления (SICPRO'2000)». М.: 2000. С. 51–61.
42. Dechy N. et al. First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st september 2001, AZF plant, France // *Journal of Hazardous Materials*. 2004. 111. P. 131-138.
43. Дозорцев В.М., Назин В.А. Компьютерные тренажеры как инструмент моделирования операторской деятельности в психологическом эксперименте// *Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики*, вып. 5 01. 2013 , с.81-103.
44. Гобир Л.М. Ймовірна оцінка результатів інтерпретації даних та параметрів геофізичних досліджень / Гобир Л.М., Вовк Р.Б., Потеряйло Л.О., Шекета В.І. // *Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”*. – 2018. – №3(68).– С. 46-59.
45. Волошинов С.А. Сучасні технічні засоби навчання у професійній підготовці майбутніх морських фахівців 2019. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://rep.ksma.ks.ua/jspui/bitstream/123456789/91/1/Voloshynov\\_digital%20global%20be.pdf](https://rep.ksma.ks.ua/jspui/bitstream/123456789/91/1/Voloshynov_digital%20global%20be.pdf)
46. Невзоров Р. Аналіз класифікації авіаційних тренажерів як елементу вдосконалення навчального процесу підготовки курсантів-льотчиків до виконання бойових завдань/ *Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві : збірник наукових праць... № 4 (24), 2013* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://esnuir.eenu.edu.ua/bitstream/123456789/4765/1/Nevzorov.pdf>
47. Моцарь А.І., Приймак А.В. Авіаційні тренажери та деякі методологічні аспекти їх створення. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. — 2007. — № 2(14). С. 39-44.
48. Трухин А.В. Анализ существующих в РФ тренажёрно-обучающих систем [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ido.tsu.ru/files/pub2008/8.pdf>



49. Тренажерный комплекс машиниста локомотива [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ndch.diit.edu.ua/innovative/trenazhernyy-kompleks-mashinista-lokomotiva.html>
50. Bello, O. et al. “Application of Artificial Intelligence Techniques in Drilling System Design and Operations: A State of the Art Review and Future Research Pathways.” (2016).
51. Гриб П.С. Цифровые тренажерные комплексы как средство оптимизации бурения и эксплуатации скважин Инженерная практика 08/2019 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://glavteh.ru/цифровые-тренажерные-комплексы/>
52. Семейство тренажеров АМТ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://amt-s.spb.ru/simulator.html>
53. Мухаметгалиев И.Д., Агзамов З.В. Разработка человеко-машинного интерфейса тренажера наклонно-направленного бурения «Молодой учёный» №27 (317), июль 2020 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ntj-oil.ru/files/ntj/2020/1/ntj-1-2020-p38-55.pdf>
54. Волкова М. М., Манурова Р. А., Шайдуллина Д. Н. Применение виртуальных тренажеров для обучения специалистов нефтегазовой отрасли Вестник технологического университета. 2019. Т.22, №4 С. 115-121.
55. Тренажер портативный для обучения и подготовки персонала по эксплуатации скважин, оборудованных установками электроцентробежных насосов (ТЭС-П УЭЦН) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.edutech.kz/katalog/neftegazovaja-otrasl/trenazheryekompleksy/trenazher-portativnyi-dlia-obucheniia-ipodgotovki-personala-po-ekspluatatsii-skvazhinoborudovannykh-ustanovkami-elektrotsentrobezhnykhnasosov-tes-p-uetsn/> (дата обращения: 13.02.2019)
56. Исмаков Р.А., Рахматуллин Д.В., Мухаметгалиев И.Д. Применение виртуальной программы тренажера для ЭВМ «Слайд Мастер 1.18» для обучения практическим навыкам бурения нефтяных и газовых скважин с использованием забойных телеметрических систем // Сб. матер. Всеросс.

- науч.-практ. конф., посвященной 85-летию доктора технических наук, профессора, академика РАН В.И. Кудинова. Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2016. С. 93-102. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://itdirects.ru/doc/artice\\_oil\\_province.pdf](http://itdirects.ru/doc/artice_oil_province.pdf)
57. Тренажер - имитатор бурения АМТ-231. [Электронный ресурс] – Режим доступа: Тренажер бурильщика.<http://amt-s.spb.ru/amt231.html>
58. Функциональные возможности полномасштабного бурового тренажера DrillSim-5000. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.gubkin.ru/faculty/oil\\_and\\_gas\\_development/chairs\\_and\\_departments/drill\\_center/DrillSim-5000.php](https://www.gubkin.ru/faculty/oil_and_gas_development/chairs_and_departments/drill_center/DrillSim-5000.php)
59. Полномасштабный тренажерный комплекс для имитации процессов в скважине, аварийных ситуаций при бурении и борьбы с газонефтепроявлениями DrillSIM - 5000 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://utc-ngd.ru/index.php/obuchenie/19-drillsim-5000>
60. Heping Pu, Guili Zhang, Zhaoxue Guo, Yongyou Wang Discussion on the Construction of Teaching Center for Virtual Simulation Experiment in the Field of Oil and Gas Development Creative Education Vol.11 No.5, May 8, 2020.
61. Еремин Н.А., Архипов А. И. Сарданашвили О. Н. Столяров В. Е. Цифровые технологии строительства скважин Digital well-building technologie Деловой журнал Neftegaz.RU, № 4,2020 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://lib4ipng.ru/PDFs/2020/Neftegaz.ru\\_2020\\_4\\_100\\_38-50.pdf](http://lib4ipng.ru/PDFs/2020/Neftegaz.ru_2020_4_100_38-50.pdf).
62. Еремин А.Н. Новая классификация цифровых и интеллектуальных скважин // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области, № 2 (24) 3, 2016 г., с. 2 – 4.
63. М.М. Хасанов, Д.О. Прокофьев, О.С. Ушмаев, Б.В. Белозеров, Р.Р. Гильманов, А.С. Маргарит Перспективные технологии Big Data в нефтяном инжиниринге: опыт компании «Газпром нефть» / // Нефтяное хозяйство, 2016, № 12. С. 76 – 79.
64. Dnyanesh Rajpathak Intelligent Scheduling -- A Literature Review Knowledge Media Institute The Open University,08/2001 [Электронный ресурс] – Режим доступа:

[https://www.researchgate.net/publication/242140738\\_Intelligent\\_Scheduling\\_--  
\\_A\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/242140738_Intelligent_Scheduling_-_A_Literature_Review)

65. Hugo Vinícius Bassi, Virgilio Jose Martins Ferreira Filho Planning and scheduling a fleet of rigs using simulation–optimization December 2012 Computers & Industrial Engineering 63(4):1074–1088 DOI: 10.1016/j.cie.2012.08.001.
66. Дмитриевский А.Н., Дуплякин В.О., Еремин Н.А., Капранов В.В. Нейросетевое моделирование в системах предупреждения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин // Датчики и системы. № 12. 2019 г., с. 21 – 27.
67. Samad Valipour Shokouhi, Agnar Aamodt, P. Skalle, Frode Sørmo Comparing two types of knowledge-intensive CBR for optimized oil well drilling Conference: Proceedings of the 4th Indian International Conference on Artificial Intelligence, ICAI 2009, Tumkur, Karnataka, India, December 16-18, 2009.
68. Portinale L., Magro D., Torasso P. Multi-modal diagnosis combining case-based and model-based reasoning: a formal and experimental analysis // Artificial Intelligence. – 2004. – Vol. 158, № 2. – P. 109-154.
69. П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений//Штучний інтелект і прийняття рішень 2/2009.
70. Probabilistic Modeling Processes for Oil and Gas By Vsevolod Kershenbaum, Leonid Grigoriev, Petr Kanygin and Andrey Nistratov Submitted: October 8th 2017Reviewed: February 6th 2018 Published: September 26th 2018 DOI: 10.5772/intechopen.74963 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.intechopen.com/books/probabilistic-modeling-in-system-engineering/probabilistic-modeling-processes-for-oil-and-gas>
71. Walid Alali, Nikolai Eremin Application of simulation methods for forecasting gas and polymer impact on the fields of Syria, Scientific-technical journal Oilfield engineering 12(624), 2020.
72. В.М. Дозорцев, И.В. Сластенов, С.Е. Тасанбаев Метод идентификации на базе имитационного моделирования технологических процессов June 2014,

- Conference: XII всероссийское совещание по проблемам управления, с. 4447-4459.
73. Trond Kongsvik, Petter Almklov, Torgeir Haavik, Stein Haugen, Jan Erik Vinnem, Per Morten Schiefloe Decisions and decision support for major accident prevention in the process industries Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Elsevier. May 2015 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://samforsk.brage.unit.no/samforsk-xmlui/bitstream/handle/11250/2462225/Article\\_Decisions\\_revision2\\_without\\_track\\_changes.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://samforsk.brage.unit.no/samforsk-xmlui/bitstream/handle/11250/2462225/Article_Decisions_revision2_without_track_changes.pdf?sequence=7&isAllowed=y)
  74. Шекета В.І. Формально-алгоритмічна імплементація моделей кейсів даних про процес буріння / В.І. Шекета, М.С. Чесановський, Л.О. Потеряйло // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем : IV Міжнар. наук.-техн. конф., Дніпро, 1-2 листопада 2018р. – Дніпро, 2018. - С. 312-314.
  75. Горбійчук М.І. Оптимізації процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 493 с.
  76. Электронные средства и системы управления. материалы докладов международной научно-практической конференции Издательство: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск) Номер: 1-2 Год: 2018 С. 22-26.
  77. Навчальні модульні тренажери для спеціалізованої техніки Локомотив інфо №11–12 2017 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/10402/1/Akulov.pdf>
  78. Исмаков Р.А., Хафизов А.Р., Мухаметгалиев И.Д., Гуменников С.Г., Галлямов М.Р. Анализ работы имитационных тренажерных комплексов для обучения практическим навыкам бурения // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 4. С. 9-13. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docplayer.ru/111908931-Analiz-raboty-imitacionnyh-trenazhernyh-kompleksov-dlya-obucheniya-prakticheskim-navykam-bureniya.html>

79. Невмержицький О.В. Аналіз сучасних моделей, орієнтованих на знання, та методів прийняття рішень Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ Інформаційні технології проектування № 13 (2013).
80. Гобир Л.М. Ймовірнісна оцінка результатів інтерпретації даних та параметрів геофізичних досліджень / Гобир Л.М., Вовк Р.Б., Потеряйло Л.О., Шекета В.І. // Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”. – 2018. – №3(68).– С. 46-59.
81. Чесановський М.С. Формально-метричні аспекти кейс-базованих реалізацій при вирішенні технологічних проблем буріння/ Чесановський М.С., Шекета В.І., Потеряйло Л.О. // Науково-технічний журнал «Математичні машини та системи». – 2019. – №1.– С. 94–106.
82. Потеряйло Л.О. Інтелектуалізація контролю та підтримка прийняття рішень в процесі буріння //Міжнародний науково-технічний журнал. «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – 2020. - №2(66) – С. 88-95.
83. Потеряйло Л.О. Знання орієнтовані методи прийняття рішень в моделюванні тренажерів технологічних процесів/ Л.О.Потеряйло, В.В.Процюк, К.І.Кравців// Науково-технічний журнал. «Методи та прилади контролю якості». 2020.- №2(45) – С.132-145.
84. Потеряйло Л.О. Інтеграційні аспекти впровадження сучасних інформаційних технологій в технологічні процеси// Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки». - 2020.- № (6) – С. 228-234.
85. M. Chesanovskyu. Software outlines for decisions making support in oil and gas engineering M. Chesanovskyu, K. Kravtsiv, V. Protsiuk, L. Poteriailo // Scientific papers of Silesian university of technology Organization and management series 2021, NO. 151.
86. Потеряйло Л.О. Забезпечення якості та об’єму геолого-технологічних даних для застосування методів машинного навчання знання-орієнтованої системи

- /Л.О. Потеряйло, В.В. Процюк, К.І. Кравців// Науково-технічний журнал. «Методи та прилади контролю якості». 2021.- № 1 (46) – С.75-92.
87. Семенцов Г.Н. Автоматизація процесу буріння свердловин / Г.Н. Семенцов – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1998. – Ч. 1. – 300 с.
88. Семенцов Г.Н. Метод інтенсифікації параметрів математичної моделі за умов апріорної та поточної невизначеності процесу буріння / Г.Н. Семенцов, О.В. Фадеева // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2005. – №3(12). – С.165-168.
89. Крижанівський Є.І. Підвищення ефективності буріння тришарошковими буровими долотами з відкритою опорою/ Є.І. Крижанівський, Р.С. Яким, Л.Є. Шмандровський, Ю.Д. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – №2(35). – С. 17-22.
90. Кропивницька, В. Б. Процес буріння свердловини як складна система з багатокритеріальними оцінками процесів / В. Б. Кропивницька // Методи та прилади контролю якості. - 2018. - № 2. - С. 68-76.
91. Горбійчук М.І. Моделювання та ідентифікація процесу заглиблення свердловин / М.І. Горбійчук, В.Б. Кропивницька // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2004. – №1(7). – С. 9-13.
92. Чудик І.І. Оптимальна подача промивальної рідини на вибій при бурінні свердловини / І.І. Чудик, Р.Б. Бабій // Нафтогазова енергетика. – 2007. – №3(4). – С.71-75.
93. Шавранський М.В. Система контролю для запобігання прихоплень бурильної колони в процесі буріння: дис. канд. техн. наук: спец. 05.11.13 – Прилади і методи неруйнівного контролю та визначення складу речовин / М.В. Шавранський. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – 168 с.
94. Вовк. Р.Б. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень для запобігання нештатних ситуацій в процесі буріння свердловин: дис. канд. техн. наук: спец. 05.13.07 – Автоматизація процесів керування / Р.Б. Вовк. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 265 с.

95. Семенцов Г.Н.. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій та газовій промисловості / Г.Н. Семенцов, Я.Р. Когуч, Я.В. Куровець, М.М. Дранчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ Факел, 2009. – 300 с.
96. Семенцов Г.Н. Інтелектуальні системи керування технологічними процесами / Г.Н. Семенцов – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 173 с.
97. Демчина М.М. Імплементация концепцій штучного інтелекту в технологічних процесах буріння нафтових і газових свердловин / М.М. Демчина // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 98-111.
98. Крижанівський Є.І. Критерії підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт з опорами типу ВУ / Є.І. Крижанівський, Р.С. Яким, Л.Є. Шмандровський, Д.Ю. Петрина // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2011. – №1(27). – С. 31-38.
99. Семенцов Г.Н. Моделювання функції мети для системи адаптивного оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління / Г.Н. Семенцов, О.В. Гутак // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. – 2010. – №2. – С 133-140.
100. Кропивницька В.Б. Комп'ютерна система оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин / Кропивницька В.Б. // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2008. – №1. – С. 105-108.
101. Недашківська Н.І. Багатокритеріальне прийняття рішень із використанням максимального синтезу в методі аналізу ієрархій (МАІ) / Н.І. Недашківська // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2010.– №3. – С. 7-16.
102. Демчина М.М. Формальні методи інтерпретації даних та знань про нафтогазові об'єкти / М.М. Демчина, В.Р. Процюк, В.І. Шекета // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2011. – №1. – С. 100-108.
103. Демчина М.М. Технологія інтелектуального опрацювання інформації про

- нафтогазові об'єкти / М. Демчина, Л. Старчевська, Д. Цінявський // Інформація, комунікація, суспільство 2012: матеріали I міжн. наук. конф., 25-28 квітня 2012 р. – Львів, 2012. – С. 236-237.
104. Шекета В.І. Класифікація об'єктів нафтогазової предметної області на основі шаблонів у формі правил / Шекета В.І., М.М. Демчина, Г.Я. Процюк // Інтелектуальний аналіз інформації: матеріали XII міжн. наук. конф. ім.Т.А.Таран, 16-18 травня 2012 р. – К., 2012. – С. 233-239.
105. Юрчишин В.М. Інформаційне моделювання нафтогазових об'єктів: монографія / В.М. Юрчишин, В.І. Шекета, О.В. Юрчишин – Івано-Франківськ: Вид-во Івано-Франківського нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2010 – 196 с.
106. Шекета В.І. Управління процесом інтерпретації інформації про нафтогазові об'єкти на основі нечітких моделей / В.І. Шекета, М.М. Демчина, Л.М. Гобир // Математичне та імітаційне моделювання систем: матеріали XII міжн. наук.-практ. конф., 25-28 червня 2012 р. – Чернігів-Жукин, 2012. – С. 43-46.
107. Демчина М.М. Використання нечітких правил для представлення знань в інтелектуальних системах нафтогазової предметної області / М.М. Демчина // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 132-141.
108. Демчина М.М. Реалізація формальних методів інтелектуального керування на основі нечітких знань про нафтогазові об'єкти / М.М. Демчина, В.Р. Процюк, Г.Я. Процюк // Нафтогазова енергетика. – 2011. – №3. – С. 96-107.
109. Вовк Р.Б. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при контролі технологічних параметрів / Р.Б. Вовк, В.І. Шекета, В.Д. Мельник // Методи і прилади контролю якості. – 2012. – № 29. – С. 119-129.
110. Семенцов Г.Н. Інтелектуальний пристрій на нечіткій логіці для розпізнавання образів у бурінні / Г.Н. Семенцов, І.І. Чигур, М.І. Когутяк, Л.Я. Чигур // Нафтогазова енергетика. – 2009. – №1(10). – С. 75-77.
111. Вовк Р.Б. Моделювання структури та функціональності технологічних



- проблем на основі обмежень / Вовк Р.Б. // Математичні машини та системи. – 2011. – № 2. – С. 153-161.
112. Ефимов Я., Корнишин К., Стрелецкая В., Урычева М. Уменьшение времени и затрат на бурение разведочных и эксплуатационных скважин путем оптимизации параметров бурения М., 2012  
[https://www.gubkin.ru/departaments/international\\_activity/files/1-report.pdf](https://www.gubkin.ru/departaments/international_activity/files/1-report.pdf)
113. Никифоровский, А. Д. Приборы контроля процессов бурения скважин // Молодёжь и наука: Сборник материалов VI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/section3.html>.
114. С.М. Рудак Система контролю параметрів процесу буріння з метою запобігання аварій та ускладнень//Автоматика та інформаційно-вимірвальна техніка/Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2006. № 6, с.14-21.
115. Xuyue Chen, Jin Yang and Deli Gao Drilling Performance Optimization Based on Mechanical Specific Energy Technologies Reviewed: February 22nd 2018  
<https://www.intechopen.com/books/drilling/drilling-performance-optimization-based-on-mechanical-specific-energy-technologies>.
116. David Hankins, Saeed Salehi, Fatemeh Karbalaei Saleh, "An Integrated Approach for Drilling Optimization Using Advanced Drilling Optimizer", Journal of Petroleum Engineering, vol. 2015, Article ID 281276, 12 pages, 2015.  
<https://doi.org/10.1155/2015/281276>.
117. Нурмедова М.Б., Матис Е.Е., Сорокин А.В. Математическая постановка задачи оптимизации технологических процессов // Проблемы науки. 2017. №11 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-postanovka-zadachi-optimizatsii-tehnologicheskikh-protsessov> (дата обращения: 30.03.2021).
118. Saurabh agarwal automation and investigation of intelligent drilling and its implementation in experimental setup Norman, Oklahoma, 2019 URI  
<https://hdl.handle.net/11244/319733>.

119. Opeyemi Bello, Javier Holzmann, Tanveer Yaqoob, Catalin Teodoriu Application Of Artificial Intelligence Methods In Drilling System Design And Operations: A Review Of The State Of The Art, Published Online 26 May 2015, DOI: <https://doi.org/10.1515/jaiscr-2015-0024>.
120. Kuprikov A. The analysis of mathematical models of mechanical speed of driving for optimization of process of drilling of oil and gas wells <https://core.ac.uk/download/pdf/147246519.pdf>.
121. Цуприков А.А. Анализ математических моделей механической скорости проходки для оптимизации процесса бурения нефтегазовых скважин // Научный журнал КубГАУ. 2015. №107. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-matematicheskikh-modeley-mehanicheckoy-skorosti-prohodki-dlya-optimizatsii-protssessa-bureniya-neftegazovyh-skvazhin>
122. Bahari, A., Baradaran Seyed, A. Drilling cost optimization in a hydrocarbon field by combination of comparative and mathematical methods. *Pet. Sci.* 6, 451–463 (2009). <https://doi.org/10.1007/s12182-009-0069-x>.
123. Кулябин Г.А. Технология углубления скважин с учетом динамики процессов: учебное пособие/ Г.А. Кулябин, А.Г. Кулябин, А. Ф. Семенов. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011.– 206 с.
124. Zakrevskiy K.E., Lepilin A.E., Novikov A.P. The Parameter Interdependency Analysis for Geological Hydrocarbon Field Modeling. *Territorija “NEFTEGAS” [Oil and Gas Territory]*. 2018;(10):22-28.
125. Ramiz H. Shikhaliyev Prospects of intelligent oil and gas fields/ *Problems of information technology*, 2018, No2, 41–47, DOI:10.25045/jpit.v09.i2.05.
126. Tuna Eren, Evren M. Ozbayoglu Real Time Optimization of Drilling Parameters During Drilling Operations Conference: SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition January 2010 DOI: 10.2118/129126-MS.
127. Ahmad Al-AbdulJabbar, Salaheldin Elkatatny, Ahmed Abdulhamid Mahmoud, Tamer Moussa Prospects of Applying MWD Technology for Quality Management of Drilling and Blasting Operations at Mining Enterprises, February 2020.
128. Эфендиев Г. М. Принятие решений при выборе долот и режимных

- параметров бурения в зависимости от характера исходной информации / Г.М. Эфендиев, С. А. Алиев, М. Д. Сарбопеева, К. К. Агаева, О. Г. Кириченко // Геоинформатика. - 2016. - № 3. - С. 30-39. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf\\_2016\\_3\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2016_3_7).
129. Полевщиков И.С., Боброва И.А. Автоматизация оценки эффективности обучения операторов на компьютерных тренажерах с применением статистических методов // ИВД. 2020. №3 (63). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-otsenki-effektivnosti-obucheniya-operatorov-na-kompyuternyh-trenazherah-s-primeneniem-statisticheskikh-metodov>.
130. Демчина М. М. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук: [спец.] 05.13.07 "Автоматизація процесів керування" / Демчина Микола Миколайович; Івано–Франківський нац. техн. ун–т нафти і газу. – Івано–Франківськ, 2013, с. 238.
131. Дослідження процесу підвищення ефективності роботи свердловин на основі математичного моделювання / В.Я. Грудз, В.В. Марущенко, М.Т. Савчук, О.О. Філіпчук // Науковий вісник Івано–Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2018. – № 1. – С. 57–63.
132. Ідентифікація параметрів моделі викривлення свердловини №2 Новомихайлівської світи / М. В. Шавранський, І.І. Чигур, А.М. Шавранська, Г.Я. Процюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – № 1. – С. 53–60.
133. Копистинський Л.О. Синтез структури цифрового логічного пристрою для підтримання процесів прийняття рішень у системі адаптивного управління бурінням свердловин електробурами / Л.О. Копистинський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2017. – № 4. – С. 55–58.
134. Мельник В. Д. Абдуктивне виведення знань про процес буріння на основі мультимедійних даних про бурове обладнання /В.Д. Мельник // Науковий вісник Івано–Франківського національного технічного університету нафти і

- газу. – 2016. – № 1. – С. 80–91.
135. Мислюк М.А. Моделювання прийняття технологічних рішень у бурінні / М.А. Мислюк // Нафтова і газова промисловість. – 2010. – № 3. – С.11–15.
136. Чесановський М. С. Кейс-базовані міркування та специфікації на основі обмежень для систем керування поглибленням свердловин/ М.С. Чесановський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2018. – №4. – С. 77–85.
137. Nikolaychuk O.A., Yurin A.Y. Computer-Aided Identification of Mechanical System's Technical State With the Aid of Case-Based Reasoning // Expert Systems With Applications. —2008. — Vol. 34. — P. 635—642.
138. Ф.А. Агзамов, И.Д. Мухаметгалиев Система поддержки принятия решений по формированию компоновки низа буровой колонны для управления направленным бурением скважин // Технология бурения и освоения скважин, 6 (122), 2019.
139. Хрустальов К.Л. Застосування інформаційних технологій в нафтогазовій промисловості / А.І. Кугір, К.Л. Хрустальов // III-я Міжнародна конференція «Виробництво & Мехатронні Системи 2019», м. Харків, 24-25 жовтня 2019 р. – Х. : ХНУРЕ, 2019. – С. 78 – 81.
140. Salem A.M., Yakoot M.S., Mahmoud O. Addressing Diverse Petroleum Industry Problems Using Machine Learning Techniques: Literary Methodology—Spotlight on Predicting Well Integrity Failures. ACS Omega, January 7, 2022, <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05658>.
141. Hegde C., Gray K.E. Use of machine learning and data analytics to increase drilling efficiency for nearby. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2017, 40, pp. 327-335. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.02.019>.
142. Ossai C.I., Duru U.I. Applications and theoretical perspectives of artificial intelligence in the rate of penetration. Petroleum, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2020.08.004>.
143. Ying Z., Ting S., Jin Y., et al. Combining Drilling Big Data and Machine Learning Method to Improve the Timeliness of Drilling. SPE/IADC International Drilling

- Conference and Exhibition, Hague, Netherlands, March 2019.  
<https://doi.org/10.2118/194111-MS>.
144. Cornel S., Vazquez G. Use of Big Data and Machine Learning to Optimise Operational Performance and Drill Bit Design. SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Virtual, November 2020. Paper Number: SPE-202243-MS, November 18, 2020. <https://doi.org/10.2118/202243-ms>.
145. Carpenter C. Big Data and Machine Learning Optimize Operational Performance and Drill-Bit Design. *Journal of Petroleum Technology*, no. 73 (12), p. 49–50. <https://doi.org/10.2118/1221-0049-jpt>.
146. Hegde C., Daigle H., Millwater H., Gray K. Analysis of rate of penetration (ROP) prediction in drilling using physics-based and data-driven models. *Journal of Petroleum Science and Engineering* November 2017. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.09.020>.
147. Balaji K., Rabiei M., Suicmez V., Canbaz C.H., Agharzeyva Z., Tek S., Bulut U., Temizel C. Status of Data-Driven Methods and their Applications in Oil and Gas Industry. SPE Europec featured at 80th EAGE Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark, June 2018. Paper Number: SPE-190812-MS. <https://doi.org/10.2118/190812-MS>.
148. Höhn P., Odebrett F., Shahid K., Paz C., Oppelt J. Framework for automated generation of real-time rate of penetration models, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 213, 2022, 110369, ISSN 0920-4105, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110369>.
149. Guh R.-S. Integrating Artificial Intelligence into On-line Statistical Process Control. *Quality and Reliability Engineering* 19(1):1 - 20 January 2003. <https://doi.org/10.1002/qre.510>.
150. Yang X., Bello O., Yang L., Bale D., Failla R. Intelligent Oilfield - Cloud Based Big Data Service in Upstream Oil and Gas. 11th International Petroleum Technology Conference, Mar 2019, Volume 2019, p. 1-16. <https://doi.org/10.2523/IPTC-19418-MS>.
151. Islam M.R., Hossain M.E. Drilling Engineering. Towards Achieving Total

- Sustainability. A volume in Sustainable Oil and Gas Development Series. Chapter 2. State-of-the-art of drilling. 2021, Pages 17-178. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820193-0.00002-2>.
152. Guangjian Dong, Ping Chen, "A Review of the Evaluation, Control, and Application Technologies for Drill String Vibrations and Shocks in Oil and Gas Well", *Shock and Vibration*, vol. 2016, Article ID 7418635, 34 pages, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7418635>.
153. Wodecki J, Góralczyk M, Krot P, Ziętek B, Szrek J, Worsa-Kozak M, Zimroz R, Śliwiński P, Czajkowski A. Process Monitoring in Heavy Duty Drilling Rigs—Data Acquisition System and Cycle Identification Algorithms. *Energies*. 2020; 13(24):6748. <https://doi.org/10.3390/en13246748>.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

##### Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

###### *Статті в наукових фахових виданнях України*

1. Гобир Л.М. Ймовірна оцінка результатів інтерпретації даних та параметрів геофізичних досліджень/ Гобир Л.М., Вовк Р.Б., Потеряйло Л.О., Шекета В.І.// Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”. – 2018. – №3(68).– С. 46-59.
2. Чесановський М.С. Формально-метричні аспекти кейс-базованих реалізацій при вирішенні технологічних проблем буріння/ Чесановський М.С., Шекета В.І., Потеряйло Л.О. // Науково-технічний журнал «Математичні машини та системи». – 2019. – №1.– С. 94–106.
3. Потеряйло Л.О. Знання орієнтовані методи прийняття рішень в моделюванні тренажерів технологічних процесів/ Л.О. Потеряйло, В.В. Процюк, К.І. Кравців // Науково-технічний журнал. «Методи та прилади контролю якості». 2020.- №2(45) – С.132-145.
4. Потеряйло Л.О. Інтелектуалізація контролю та підтримка прийняття рішень в процесі буріння // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». - 2020.- №2 (66) – С. 88-95.
5. Потеряйло Л.О. Інтеграційні аспекти впровадження сучасних інформаційних технологій в технологічні процеси// Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки». - 2020.- № (6) – С. 228-234.
6. Потеряйло Л.О. Забезпечення якості та об’єму геолого-технологічних даних для застосування методів машинного навчання знання-орієнтованої системи / Л.О. Потеряйло, В.В. Процюк, К.І. Кравців // Науково-технічний журнал. «Методи та прилади контролю якості». 2021.- № 1 (46) – С.75-92.

*Опубліковані статті у зарубіжних наукових виданнях*

7. M. Chesanovskyu. Software outlines for decisions making support in oil and gas engineering M. Chesanovskyu, K. Kravtsiv, V. Protsiuk, L. Poteriailo // Scientific papers of Silesian university of technology Organization and management series 2021, NO. 151.

*Індексовані міжнародною базою цитування Scopus*

8. Romanyshyn Y., Sheketa V., Chesanovskyu M., Pikh V., Pasieka M., Poteriailo L. Case-Based Notations for Technological Problems Solving in the Knowledge-Based Environment. Computer Sciences and Information Technologies: Proceedings of the IEEE 14th International Scientific and Technical Conference. CSIT-2019, Lviv, Ukraine, 17-20 September, 2019. Vol. 1. P. 10–15.
9. Vasyl Sheketa, Roman Vovk, Volodymyr Pikh, Yulia Romanyshyn, Kostiantyn Kravtsiv, Liudmyla Poteriailo, Volodymyr Protsiuk, Mykola Pasyeka: Solutions Outlining on the Set of Structured Technological Problems with Imposed Constraints. Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop. Proc. 3rd International Workshop (MoMLLeT&DS 2021). Volume I: Main Conference Lviv-Shatsk, Ukraine, June 5-6, 2021. 40-50.
10. Liudmyla Poteriailo, Vasyl Sheketa, Yulia Romanyshyn, Pavlo Krot: Data optimization for the knowledge bases in the oil and gas Monitoring-While-Drilling (MWD) Systems IOP Conference Series Earth and Environmental Science 1189(1): 012021, May 2023.

**Опубліковані праці апробаційного характеру**

11. Гобир Л.М. Симуляція режимів тестування в системах контролю свердловин / Л.М. Гобир, М.С. Чесановський, Л.О. Потеряйло, В.І.Шекета // Реферативний збірник наукових праць 6-ї міжнародної міжвузівської школи семінару «Методи та засоби діагностики в техніці та соціумі». – 17-18 грудня 2018 року. – м. Івано-Франківськ. – С.20-21.
12. Шекета В.І. Формально-алгоритмічна імплементація моделей кейсів даних про



- процес буріння / В.І. Шекета, М.С. Чесановський, Л.О. Потеряйло // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем : IV Міжнар. наук.-техн. конф., Дніпро, 1-2 листопада 2018р. – Дніпро, 2018. - С. 312-314.
- 13.Вовк Р.Б. Формалізація представлення технологічних проблем в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень / Р.Б. Вовк, М.С. Чесановський, Л.О. Потеряйло // Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту, присвячена 50- річчю кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій: Всеукр. наук.-практ. конф., Івано-Франківськ, 17-19 жовтня 2018р.: тези доп. - Івано-Франківськ, 2018. - С. 46-47.
- 14.Романишин Ю.Л., Потеряйло Л.О. Адаптивна гіпермедія як засіб інтелектуалізації контенту в системах електронного навчання. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи: матеріали II Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції (Тернопіль, 8-9 листопада, 2018 р.). Тернопіль: Осадца Ю. В. 2018. С. 119-122.
- 15.Романишин Ю., Потеряйло Л. Функціональні аспекти адаптивності технологій дистанційного навчання / Ю.Романишин, Л. Потеряйло // Інформація, комунікація, суспільство 2018: матеріали VII Міжнародної наукової конференції ICS-2018 [Електронний ресурс]. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – С. 287-288.
- 16.Sheketa V. Case-based modelling of data and knowledge // Sheketa V., Chesanovsky M., Styslo T., Romanyshyn Y., Poteriailo L. // 14-а міжнародна науково-практична конференція “Математичне та імітаційне моделювання систем – МОДС 2019” .– Чернігів.– 2019.–С.177–181.
- 17.Потеряйло Л.О. Моделювання імітаційної моделі керування процесами буріння на основі прецедентів / Потеряйло Л.О., Процюк В.В., Кравців К.І // Всеукраїнська наук.-практ. конф. «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» - ІТОТП-2020 -Івано-Франківськ, 8 жовтня 2020. – С.224-227.
- 18.Потеряйло Л.О. Використання CBR при реалізації інженерних рішень систем

класу «Бурові тренажери» / Потеряйло Л.О., Процюк В.В., Кравців К.І // VI Міжнар. наук.-техн. конф. «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем», Дніпро, 4 листопада 2020 р. – Дніпро, 2020. – С.146-148.

19. Liudmyla Poteriailo Data optimization for the knowledge bases in oil and gas Monitoring-While-Drilling (MWD) systems / Liudmyla Poteriailo, Vasyl Sheketa, Yulia Romanyshyn, Pavlo Krot // XXII Conference of PhD Students and Young Scientists June 29 – July 01, 2022, Wroclaw, Poland. – p.101-102.

### **Відомості про апробацію результатів дисертації**

1. 6-ий міжнародний міжвузівській семінар «Методи та засоби діагностики в техніці та соціумі» (Івано-Франківськ 17-18 грудня 2018 року, форма участі – заочна).
2. IV Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (Дніпро, 1-2 листопада 2018р, форма участі – заочна).
3. Всеукраїнська науково-практична конференція «Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту, присвячена 50-річчю кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій» (Івано-Франківськ, 17-19 жовтня 2018р., форма участі – заочна).
4. II Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання» (Тернопіль, 8-9 листопада, 2018 р., форма участі – заочна).
5. VII Міжнародна наукова конференція «Інформація, комунікація, суспільство 2018: ICS-2018 (Львів, 2018, форма участі – заочна).
6. 14th International Scientific and Technical Conference CSIT-2019 «Computer Sciences and Information Technologies» (Lviv, 17-20 September, 2019, форма участі – заочна).
7. 14-а міжнародна науково-практична конференція “Математичне та імітаційне моделювання систем – МОДС 2019” (Чернігів, 2019, форма участі – заочна)

8. Всеукраїнська науково-практична конференція «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» - ІТОТП-2020 (Івано-Франківськ, 8 жовтня 2020, форма участі – дистанційна).
9. VI Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (Дніпро, 4 листопада 2020р., форма участі – заочна).
10. Міжнародний семінар International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science (MoML&T&DS'2021) (Lviv-Shatsk, Ukraine, June 5-6, 2021, форма участі – заочна).
11. XXII Conference of PhD Students and Young Scientists June 29 – July 01, 2022, Wroclaw, Poland (hybrid event).

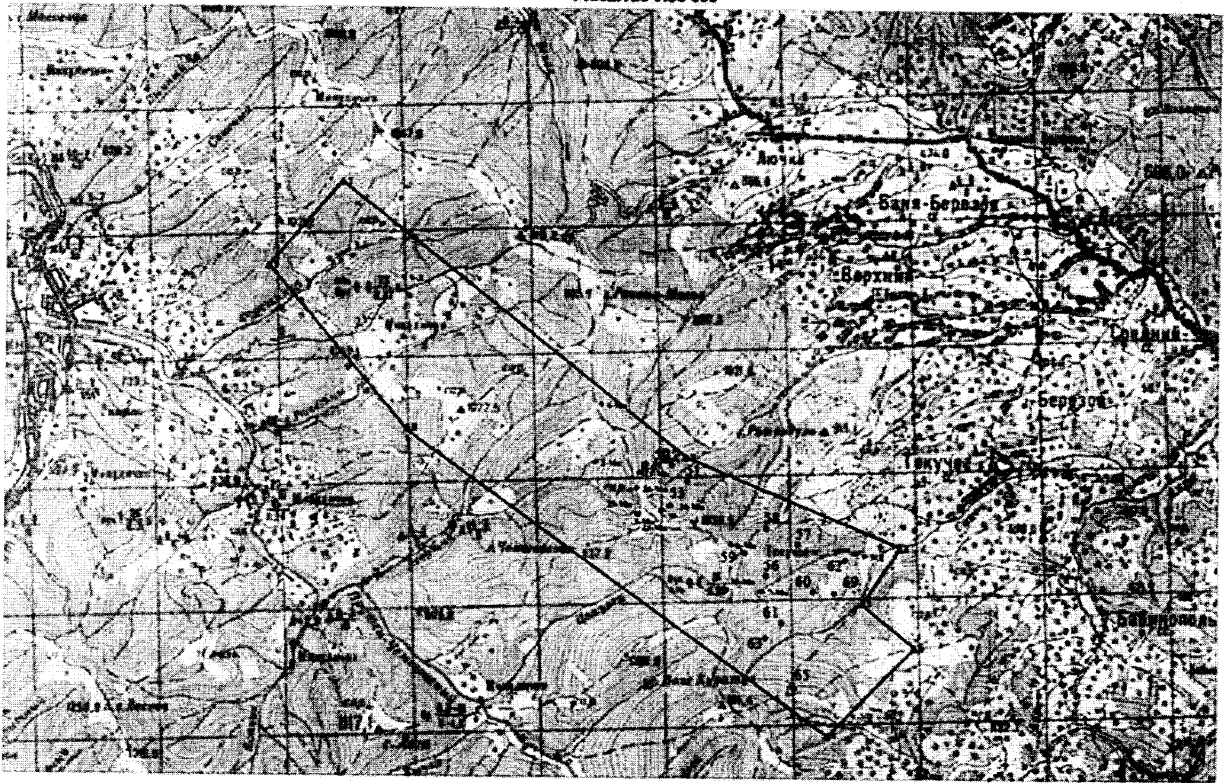
### Додаток Б

#### Карта-схема території розташування Микуличинського родовища



## Карта – схема розташування свердловин на Микуличинському родовищі

МИКУЛИЧИНСЬКЕ РОДОВИЩЕ  
Оглядова карта  
Масштаб 1:50 000



● пробурені свердловини



квадрат спеціального дозволу на користування надрами

■ проєктовні свердловини

# Інформація щодо проблемних питань під час будівництва свердловин на родовищах ПАТ "Укрнафта"

Додаток В

Свердловина № Родовище	Вид ускладнення	Обставини виникнення (короткий опис)	Імовірні причини виникнення	Спосіб ліквідації ускладнення	дані УКРСС		дані УБР	
					Три-валість робіт з ліквідації, тис. грн	Вартість робіт з матеріалів, тис. грн	Три-валість робіт з ліквідації, тис. грн	Вартість робіт з матеріалів, тис. грн
<b>Охтирське УБР</b>								
142 Анастасівське	Поглиблення бурового розчину	12.12.2010р. При поглибленні до 584м відмічено поглиблення 10м <sup>3</sup> бурового розчину. Поглиблення припинено. Після відновлення циркуляції свердловина через 50х поглинула ще 40м <sup>3</sup> розчину.	1. Відхилення від проекту. Перевищення (1.28 - 1.30г/см <sup>3</sup> ) фактичної густини бурового розчину над запроєктованою (1.20-1.22г/см <sup>3</sup> ) за рахунок збагачення вибурною породою. Висока (12-14м/год) швидкість буріння в інтервалі скільому до поглиблень.	Приготування додаткового об'єму бурового розчину збагачення його наповнювачем (тирсою).	48,0	100334	48,0	100334
142 Анастасівське	Поглиблення бурового розчину	28.01.11р. Під час промивання свердловини на глибині 1549 м (розкрито передбачені проектом шхильні до поглинання трасові та нехемієперські теригенні відклади) при тиску на стовпу 65 атм зафіксовано часткову втрату циркуляції бурового розчину. За 15 хвилин промивки свердловина поглинула 18м <sup>3</sup> розчину.	Не врахування застережень проекту. (Наваніст в розрізі поглинаючих трасових (в інтервалі 2010 – 2260 м) та нижньолермських (в інтервалі 2590 – 2620 м) теригенних відкладів.)	Збагачення бурового розчину наповнювачем (тирсою).	105,0	282526	105,0	282526
21 Артохівське	Втрата герметичності бурийної колони	27.10.10р. в процесі поглиблення при вибої 3365 м відмічено падіння тиску на стовпу від Р=85атм до Р=75атм. Промито бурийну трубу Ø114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Turbulator Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурийних труб.	Пошук дефекту, заміна промитого труби.	18,0	27479	18,0	27479
21 Артохівське	Втрата герметичності бурийної колони	11.11.10р. в процесі поглиблення при вибої 3965 м відмічено падіння тиску на стовпу від Р=80атм до Р=80атм. На глибині 580м промито бурийну трубу Ø127 *9,2 "Г".	Незадовільна якість бурийних труб.	Пошук, заміна промитого труби.	2,0	3476	2,0	3476
21 Артохівське	Втрата герметичності бурийної колони	15.11.10р. в процесі поглиблення при вибої 4016м відмічено падіння тиску на стовпу від Р=100атм до Р=80атм. На глибині 630 м промито бурийну трубу Ø127* 9,2 "Г".	Незадовільна якість бурийних труб.	Пошук дефекту, заміна промитого труби.	3,5	6083	3,5	6083
21 Артохівське	Втрата герметичності бурийної колони	03.12.10р. в процесі поглиблення при вибої 4240м відмічено падіння тиску на стовпу від Р=85атм до Р=75атм. Промито бурийну трубу Ø 127*9,19 "G105".	Незадовільна якість бурийних труб.	Пошук дефекту, заміна промитого труби.	5,0	9337	5,0	9337
21 Артохівське	Втрата герметичності бурийної колони	07.12.10р. в процесі поглиблення при вибої 4262м відмічено падіння тиску на стовпу від Р=85атм до Р=65атм. На глибині 2103 м промито бурийну трубу Ø 114*8,56 "Г".	Незадовільна якість бурийних труб.	Пошук дефекту, заміна промитого труби.	24,0		24,0	
21 Артохівське	Втрата герметичності бурийної колони	10.12.10р. в процесі поглиблення при вибої 4283м відмічено падіння тиску на стовпу від Р=65атм до Р=65атм. На глибині 3900м промито бурийну трубу Ø 114*8,56 "Г" виробництва "Татмет" Росія	Якість бурийних труб не відповідає умовам застосування.	Пошук дефекту, заміна промитого труби.	24,0		24,0	
21 Артохівське	Втрата герметичності бурийної колони	02.01.11р. в процесі поглиблення при вибої 4373м відмічено падіння тиску на стовпу від Р=85атм до Р=65атм. Промито бурийну трубу Ø114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Turbulator Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурийних труб.	Пошук дефекту, заміна промитого труби.	72,0		72,0	
21 Артохівське	Втрата герметичності бурийної колони	25.01.11р. в процесі поглиблення при вибої 4418м відмічено падіння тиску на стовпу від Р=85атм до Р=75атм. Промито бурийну трубу Ø114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Turbulator Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурийних труб.	Пошук дефекту, заміна промитого труби.	48,0		48,0	
21 Артохівське	Втрата герметичності бурийної колони	03.02.11р. в процесі поглиблення при вибої 4469м відмічено падіння тиску на стовпу з Р=85атм до Р=75атм. Промито бурийні труби Ø127*9,19 "G 105" та Ø127*12,2 "G105".	Незадовільна якість бурийних труб.	Пошук дефекту, заміна промитих труб.	7,0		7,0	



21	Артохівське	Прихоплення інструменту.	06.02.11р. після завершення відбирання керну під час руху бурильної колони від вибою без обертання ротора виникла затяжка до 164 тон. Інструмент ротором повернутий не вдалося. Розкодування також не забезпечило позитивного результату.	Диференційне прихоплення за складних причино-геологічних умов.	Установлення двох нафтових ванн (використано 26,618 т нафти).	65,8	145881	34970	об'єкт тивні	65,8	180851	Нафта - 26,618 т; РВ - 790 кг; СМ - 87 кг; КМЦ - 87 кг; НАОН - 75кг; КСІ - 200 кг; Пентакс - 50 кг; Сульфатол - 40 кг.	
21	Артохівське	Підвищення кавернозності стовбура свердловини	В інтервалі 2943-4492 коефіцієнт кавернозності склав 1,35, для порівняння, в св.№23-Артохівська (інтервал 2924-4478) - 1,24.	Невідповідність бурового розчину умовам споруджування свердловини.	Невідповідність бурового розчину умовам споруджування свердловини.	948,0	191586 8,5	95577,8	суб'єкт тивні	948,0	2014000	Глина ПБА-18 - 2,7т; савілон - 100кг; ВЛР - 300кг; крейда - 3т; НТФК - 8,2кг; КМЦ - 125кг; прасстол - 50кг; цемент ПЦТ-1-100 - 8,5т;	
21	Артохівське	Пошкодження експлуатаційної колони	31.03.11р. після обпресування експлуатаційної колони пониження рівня під час до підйому НКТ в інтервалах 4414-4409м і 4406,5 - 4405,5 спостерігалися затяжки до 80т при в'язкій вазі підвісних труб 38 т. Під час огляду підвісок зі свердловини труб виявлено, що три НКТ деформовано (розплющено).	Остаточна причина ускладнення не встановлена. Можливі причини: 1. Зміцнення колони за рахунок використання неаксісних тампонажних сумішей (не підтверджені результатами незалежних досліджень, виконаних в ПолтУрДІТР); 2. Падіння споронного предмету; 3. Незадовільна якість матеріалу обсадної труби на ділянці дефекту; 4. Ефект "гідралічного удару" під час пониження рівня рідини у свердловині.	Відкривання НКТ, ловильні роботи трубоволами, робота устравками, слуск райбера, усунювання опорного цементного моста, слуск та цементування потайної колони Ø1114 мм, розбурювання цементного стаякуну діаметром Ø 89мм	948,0	191586 8,5	95577,8	суб'єкт тивні	948,0	2014000	Авохлоратеве долото Ø 89 мм - 2шт; трубовиматеріал и Ø114мм - 2шт; цим.пг.; РК-114 - 1 комплект.	
509	Бугурватівське	Прихоплення інструменту	05.04.10р. під час проробки стовбура в інтервалі 3811-3819 м відбулось зростання тиску від 100 до 110 атм та крутного моменту з 50 до 70 поділок. На вібрості відмічено збільшений винос дробинок свертового арматури. Після чергового допуску інструменту спроба підняти бурильну колону виявилася невадалою - інструмент прихоплено.	Диференційне прихоплення обмежених бурильних труб (ОБТ) в інтервалі залегання високоденованих відкладів продуктивного горизонту В18 з аномально низьким пластивим тиском та одночасним частковим порушенням цілісності стінок свердловини.	Розкодування бурильної колони, установлення нафтової ванни (використано 25 т нафти)	54,8			об'єкт ивні	54,8	115000	нафта - 25,1т; РВ-СМ - 0,4т; кауст.сода - 0,05т; пентакс - 0,05т; КСІ-1,2т; металол-0,4т; політум-0,2т	
36	Козівське	Втрата герметичності бурильної колони	17.03.11р. в процесі потглиблення відмічено падіння тиску на стояку від Р=105атм до Р=70атм. На глибині 2760 м промітито бурильну трубу Ø1114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Tubular Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітитої труби	12,0			брак обла днан ня	12,0	26931		
36	Козівське	Втрата герметичності бурильної колони	21.03.11р. в процесі потглиблення відмічено падіння тиску на стояку від Р=105атм до Р=70атм. На глибині 2700 м промітито бурильну трубу Ø1114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Tubular Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітитої труби	8,0			брак обла днан ня	8,0	17954		
36	Козівське	Втрата герметичності бурильної колони	04.04.11р. Негерметичність бурильної колони під час опресування допускового бурильного інструменту для слуску 1-ї секції експлуатаційної колони на глибині 1000м. Ø127*9,19G105	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітитої труби	12,0			брак обла днан ня	12,0	28950		
36	Козівське	Прихоплення інструменту	19.11.11р. під час шлюбування стовбура свердловини виникло диференційне прихоплення бурового інструменту	Невідповідність бурового розчину умовам споруджування свердловини.	Установлення нафтових ванн (використано 15м <sup>3</sup> нафти)	30,0			суб'єкт тивні	30,0	64131	нафта - 13,516 т; сульфатол - 20 кг.	
36	Козівське	Підвищення кавернозності стовбура свердловини	В інтервалі 3256-4090 м коефіцієнт кавернозності склав 1,3, для порівняння - на св.№29-Козівська (інтервал 3310-4160) - 1,2	Невідповідність бурового розчину умовам споруджування свердловини.					суб'єкт тивні				
83	Старо-Самбірське	Незадовільна організація робіт із освоєння свердловини.	Роботи з освоєння свердловини виконувались з відхиленнями від проектно-кошторисної документації. За результатами перфорації нижньої частини продуктивного пласта при депресії 1,78 МПа отримано приплив нафти 1,417 м <sup>3</sup> /добу (середній коефіцієнт.	Неякісна освоєна свердловина передана в експлуатацію НГБУ "Бориславнафтогаз". На грудень 2011 р	Неякісна освоєна свердловина передана в експлуатацію НГБУ "Бориславнафтогаз". На грудень 2011 р				суб'єкт тивні			Звуваження та примітки	
													Освоєння свердловини проводилось у відповідності до плану робіт погоджених з БНГВУ, ПАТ "Укнафтогаз", НДПІ та рекомендацій НДПІ

180	Барзаківське	Прихплення інструменту	продуктивності 0,819 м <sup>3</sup> /добу х МПа. Замість подальшого освоєння свердловини шляхом збільшення депресті 03.04.2010 р виконано глинисто-пінну обробку, після якої стан привибійної зони суттєво покращився. Депресті при депресті 7,67 МПа упав до 0,82 м <sup>3</sup> /добу. Середній коефіцієнт продуктивності знизився у 8 разів. Після ПРП всулереч рекомендаціям фахівців НДПІ з продуктивну зону не очистили від продуктів розпаду гелю.	Розклинювання у жолобний виробці.	зплановано проведення перфорації з метою розкриття верхньої частини покладу.	23,3	об'єктівні	23,3	58 958,02	59,0	Имовірна причина: втрата рухомості бурильної колонки у жолобний виробці внаслідок виникнення додаткових утримуючих зусиль, обумовлених злишко геометричних розмірів жолобів в часі.
180	Барзаківське	Поломка бурильної колонки	25.03.11р. під час розширювання стовбура свердловини в інтервалі 4872-488 м (при досягненні глибини 496 м) втрата рухомості бурового інструменту.	Незадовільні: якість металу та дефектоскопії перехідника.	Повільні роботи	25,0	брак об'єкта	25,0	63260	63,3	Имовірна причина виникнення: невідповідність трубної заготовки сертифікату якості з якої виготовлений перехідник
180	Барзаківське	Втрата герметичності бурильної колонки	27.03.11р. Під час калібрування стовбура свердловини на глибині 424,5м обрив перехідника під ведучою трубою (свадратом). Перехідник встановлено в компоновку бурового інструменту 26.03.11р До обриву по різьбі кріплення напращування оклало лише 29год (акт дефектоскопії від 12.03.2011р).	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби	24,0	брак об'єкта	24,0	60729	60,7	
180	Барзаківське	Втрата герметичності бурильної колонки	30.03.11р. Під час калібрування на глибині 4463 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=75атм до Р=60атм. На глибині 2330 м промітито бурильну трубу Ø 114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Turbular Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби	16,0	брак об'єкта	16,0	60729	60,7	
180	Барзаківське	Втрата герметичності бурильної колонки	31.03.11р. в процесі поглиблення при вибої 4463 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=75атм до Р=60атм, з температури промітної рідини з 48 до 46 °С. На глибині 2000 м промітито бурильну трубу Ø 114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Turbular Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби	5,0	брак об'єкта	5,0	10849	10,8	
180	Барзаківське	Втрата герметичності бурильної колонки	16.09.10 р. в процесі поглиблення при вибої 4454,3м відмічено падіння тиску на стояку від Р=80атм до Р=60атм та температури промітної рідини від 52 до 47 °С. Промітито бурильну трубу Ø 114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Turbular Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби	5,0	брак об'єкта	5,0	10849	10,8	
180	Барзаківське	Втрата герметичності бурильної колонки	19.09.10 р. в процесі поглиблення при вибої 4463 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=80атм до Р=50атм та температури промітної рідини від 52 до 47 °С. Промітито бурильну трубу Ø 114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Turbular Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби	118,0	брак об'єкта	118,0	256044	#####	
180	Барзаківське	Втрата герметичності бурильної колонки	20.09.10 р. в процесі поглиблення при вибої 4463 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=75атм до Р=65атм. Промітито бурильну трубу Ø 114*11 "S1".	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби	24,0	брак об'єкта	24,0	52077	52,1	
180	Барзаківське	Втрата герметичності бурильної колонки	05.04.11р. в процесі поглиблення при вибої 4668 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=80атм до Р=70атм. На глибині 2553 м промітито бурильну трубу Ø 114*8,56 "S135" виробництва Oil Country Turbular Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби		брак об'єкта				
180	Барзаківське	Втрата герметичності бурильної колонки	24.04.11р. в процесі поглиблення при вибої 4892 м відмічено падіння тиску на стояку. Промітито бурильну трубу Ø 114*8,56 S-135 виробництва Oil Country Turbular Ltd. (Індія).	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби		брак об'єкта				
180	Барзаківське	Підвищена кавернізність стовбура свердловини	В інтервалі 3731-4484,9 коефіцієнт кавернізності склав 1,95	Невідповідність бурового розчину умовам споруджування свердловини.	Пошук дефекту, заміна промітної труби		брак об'єкта				Буріння свердловини в інтервалі 3731-4484,9 м проводилося з підтримуваними параметрами бурового розчину згідно ПКД. В процесі поглиблення відбулася ускладнення стовбура свердловини (жолоблення в інтервалах залегання порід серпуляківського і візекського ярусів), що є однією із імовірних причин збільшення кавернізованості.





2	Будівське	Руйнування буриньної колони	23.04.11р. під час допуску інструменту до виско (5177 м) відмічено падіння його ваги від 154,8 т до 119,6 т з одночасним падінням тиску на стовпу від 110 атм до 60 атм. Після підйому на денну поверхню зафіксовано злам по тілу буриньної труби Ø114*8,56 *S135* виробництва Oil Country Tubular Ltd. (Індія) на глибині 3348 м. Наробка на даву Трубу склапа 979год.	Незадовільна якість буриньних труб.	Львівські роботи. Використання ПВР (шнурової торпеди). Розходження інструменту.	104,3	Брак об'єкта	104,3	266855,98	52015,7	319,0	104,25 год браку згідно акту
2	Будівське	Втрата долота	06.06.11р. під час калібрування стовбура свердловини в інтервалі 4739-4839 м зулянилося долото. Підйом буриньного інструменту з викручуванням в інтервалі 4893-4738м. Після підйому на денну поверхню виявилось, що у свердловині залишене долото 81/2" Z-34S (Б1В) №58.	Порушення правил кріплення долота, незадовільна якість наддолотного перехідника.	Львівські роботи	131,0	Суб'єктивні	131,0	311087	311,1	311,1	Умовними причинами виникнення є: періодичне прокручування долота і КПС в процесі калібрування інтервалів жолюбостворень стовбура свердловини та недостатній технологічний контроль за процесом калібрування. ПП
2	Будівське	Підвищена квернозність стовбура свердловини	В інтервалі 3653-5376 коефіцієнт квернозності склав 1,35 для порявання - св.№1-Будівська (інтервал 3819-5570) - 1,13	Невідповідність бурового розчину умовам спорудження свердловини.	Невідповідність бурового розчину умовам спорудження свердловини.	17,5	Суб'єктивні	17,5	53,2	19,2	72,4	Фактично затрачено 17,5 год.
835	Долінське	Ускладнення під час цементування експлуатаційної колони.	27.05.10р. під час цементування I секції експлуатаційної колони (на 17м <sup>3</sup> тиск станом-виг 140 атм) зафіксовано повну втрату циркуляції. Подальше протискування тапонажного розчину проходило без виходу циркуляції з поступовим зростанням тиску до 255 атм. Після зупинки тиск зростає до 196 атм. Повторна спроба продовжити протискування призвела до зростання тиску до 255 атм. Прийнято рішення зупинити процес цементування (не дожчеано 5,8м <sup>3</sup> протискувальної рідини).	Остаточна причина ускладнення не встановлена. Можливі причини: 1. Порушення цілісності стінок свердловини; 2. Висипання шламу на ділянці підвищеного кверноутворення.	Розбурювання цементного стакану в інтервалі 2129-2790 м.	496,8	Об'єктивні	496,8	999610	5099	1004,709	
835	Долінське	Незадовільна якість геофізичних досліджень свердловини (інтерпретація результатів цементування за даними АКЦ)	Незважаючи на об'єктивну відсутність цементного каменя вгорі II секції експлуатаційної колони за даними КУТР показано добрий контакт каменя з металом труби.	Суб'єктивні помилки виконавців робіт.			Суб'єктивні					Можливою причиною даних результатів АКЦ, може бути наявність цементної кори на стінках колони та ушліщення бурового розчину в затрубному просторі
34	Полушанське	Покриття бурового розчину	02.01.-03.01. 2010 р в процесі ліквідації флюїдопроявлення при вибої 4208 м зафіксоване часткове поглинання бурового розчину густиною 1,82 - 1,86 г/см <sup>3</sup> .	Перевиконання тиску у свердловині над тиском поглинання під час ліквідації флюїдопроявлення у не передбачених проектом газонафтогазонасичених колекторах баден-гельветських відкладів міоцену.	Закатка 35 м <sup>3</sup> бурового розчину густиною 1,80 г/см <sup>3</sup> з наповнова-чем (5 м <sup>3</sup> ) тиром в зону поглинання.		Об'єктивні	45,25	90,3	46,1	136,4	
34	Полушанське	Флюїдопроявлення	30.01.2010 р в процесі постмблення свердловини при вибої 4208 м зафіксоване збільшення на 1м <sup>3</sup> об'єму бурового розчину в приймальних ємностях, а також зменшення його тиску від 1,62 г/м <sup>3</sup> до 1,38 г/м <sup>3</sup> .	Розкриття на передбачених проектом газонафтогазонасичених колекторів в баден-гельветських відкладах міоцену.	Дегазація, дообваження бурового розчину до густини 1,82 - 1,86 г/см <sup>3</sup> .		Об'єктивні					
34	Полушанське	Прихоплення інструменту	28.02.2010 р в процесі ліквідації флюїдопроявлення при вибої 4208 м після закінчення заправки бурового розчину густиною 1,80 г/м <sup>3</sup> та відкриття превентора буриньного інструменту (ОБТ - 203) виявився прихопленим на ділянці 3830 - 3830 м.	Диференційне прихоплення нерухомої частини буриньної колони під час ліквідації флюїдопроявлення у не передбачених проектом газонафтогазонасичених колекторах баден-гельветських відкладів міоцену.	Періодичне розходження інструменту зупинкам від 30 до 170 тн. Установлення нафтової ванни об'ємом 25 м <sup>3</sup> .		Об'єктивні	97,1,0	2556,5	1318,4	3874,9	Дане ускладнення входить в загальне ускладнення (наступний пункт) 30.01.10р-12.03.2010р.
34	Полушанське	Прихоплення інструменту	09.08.10р. в процесі постмблення (при черговому відриві бурового інструменту від вибою) на глибині 4502м виникло прихоплення бурового інструменту.	Диференційне прихоплення.	Установлення нафтової ванни (використано нафти 13,9м <sup>3</sup> -200л емулятора - савенолу).	17,5	Об'єктивні	17,5	53,2	19,2	72,4	Фактично затрачено 17,5 год.
34	Полушанське	Не виконання необхідного обсягу геофізичних досліджень на етапі кріплення експлуатаційної колони.	На етапі кріплення свердловини експлуатаційної колони (вибої 4503 м) геофізичні дослідження виконано на певному обсязі, а саме: ТК (інтервал 0-4280 м, інципієметрия - інтервал 0 - 4260 м, профілометр - інтервал 0 - 4260 м, стандартний каротаж - інтервал 50 - 4445 м, БК3 - інтервал 4230 - 4445 м; АКЦ - відсутнє.	Ускладнений стан стовбура свердловини. Високи тископроницальності бурового розчину при підвищенні термобаричних умовх насамперед за рахунок використання не передбаченого проектом реагенту Металол - С.	Спроби проведення геофізичних досліджень у обсягу стовбура свердловини - безрезультатні.		Суб'єктивні					

34	Незадовільна якість цементування нижньої секції експлуатаційної колони із застосуванням (за рішенням геолого-технічної наради ВАТ "Укрнафта" та Прикарпатського УБР від 04.08.2010 р) промазаного бурового суміші і тампонажних цементів ШПЦС-120 Об та РТМ-120 Об. ПВ виробництва НВП "Спецматеріали" без програми дослідно-промислових випробувань та належного входного контролю якості вище зазначених цементів.	Незадовільна якість (низька стійкість, висока водовіддільність і водовиддача, низька корозійна стійкість) тампонажних матеріалів замішаних із цементом ШПЦС-120 Об та РТМ-120 Об. ПВ виробництва НВП "Спецматеріали". Рішення геолого-технічної наради ВАТ "Укрнафта" та Прикарпатського УБР від 04.08.2010 р прийняте без врахування думки НДПІ та негативного дос-вду кріплення свердловин № 162 Анастасівська, № 33 Волошкивська, 534 Бугруватівська із застосуванням цементів НВП "Спецматеріали".	Врахування високої інтенсивності подолеративане, значну мінералізацію та корозійну активність пластивих вод вирішено перейти на освоєння менш погужого вищезалізачючого горизонту, провівши перфоратійні роботи в інтервалі 4201 - 4208 м. Це привело до втрати найбільш перспективної частини стовбура свердловини (об'єкти: 4438 - 4435, 4374 - 4368, 4406 - 4391).	3629,0	3629,0	11082,8	2663,5	13746,3	Фактично витрачено часу на ліквідацію ускладнення 3629 год.
47	Порушення цілісності стінок свердловини.	Звуження стовбура свердловини внаслідок пластичної деформації стібницьких відкладів	Проробка стовбуру свердловини	3629,0					Фактично витрачено часу на ліквідацію ускладнення 3629 год.
47	Порушення (зім'ягтіння) 168,3 мм "хвостовика".	Недостатня міцність 168,3 мм обсадних труб з проточеними муфтовими з'єднаннями.	Проробка стовбуру свердловини	1137,0	1137,0	2772,2	238,8	3011	Згідно балансу ускладнення тривало з 28.04.2011р по 14.06.2011р. з 15.06.2011р. - ПІЗР до консервації.
47	Руйнування колони буриньних труб	Заклинювання райбера	Проробка стовбуру свердловини	1137,0					Дане ускладнення входить в загальне ускладнення (попередній пункт) з 28.04.2011-14.06.2011р.
201	Пн-Долгинське	Ускладнення під час цементування експлуатаційної колони.	Доčasне вивільнення протисувальної пробки з цементувальної головки, що призвело до виникнення піддавального удару від зупинки пробки на "стоп"-кільці.	882,0	882,0	2035774	28694	2064,5	
202	Пн-Долгинське	Незадовільна організація цементування 219 мм проміжної колони	Врахування доброї якості цементування свердловини за результатами АКЦ - Невідповідність фактичного об'єму свердловини плану робіт (помилка геофізміва під час інтерпретації результатів профілометрії).						
202	Пн-Долгинське	Руйнування долота	Незадовільна якість долота 190,5 H4GVXC (№0302) (фрми Glinik (Польща).	55,0	55,0	166762		166,8	Фактично витрачено часу 55 год на ліквідацію ускладнення
202	Пн-Долгинське	Ускладнення під час спуску / секції експлуатаційної колони	Неякісна (безконтрольна) підготовка пристрою ПСК 2-146. Використання вищезазначеного пристрою без розробки програми дослідно-промислових випробувань.	93,0	93,0	252981		253,0	Фактично витрачено часу 93 год на ліквідацію ускладнення. Причиною падінню і секції 146 мм експлуатаційної колони стала втрата циркуляції промислової рідини під час промиву перед цементуванням внаслідок руйнування підвальної пробки. Руйнування відбулося через відсутність наскрізного отвору у виконаному підвальної пробки, що не відповідає конструктивним документації на виготовлення пристрою ПСК-2-146. Під адляти відсутність належної перевірки перед використанням пристрою на предмет його відповідності та зв'язного огляду вузлів і деталей зі сторони відповідальних ПП.

124	Рудавське	Газопровляння	24.08.10р. під час поглиблення в інтервалі 5109-5110 м спостерігалось збільшення механічної швидкості буріння, почала падати густина бурового розчину з 1,28 до 1,15 г/см <sup>3</sup> . Тиск в загальному просторі піднявся до 30 клс/см <sup>2</sup> . Свердловина частково поглинула близько 40 м <sup>3</sup> розчину	Газопровляння виникло внаслідок розкриття нижньої частини горизонту В-22 верхньовізейського підярусу, представленою піщовидними просарками пісковиків, які в певній частині структури не дренувалися іншими свердловинами і зберігли термобаричні умови даного горизонту.	187,0	400310,75			187,0	561900	367797,75	930,0	Фактично витрачено часу 187 год на ліквідацію ускладнення
125	Рудавське-Червонозаводське	Руйнування елемента бурильної колонії	18.02.11р. в процесі поглиблення при вибої 847 м відмічено зупинку прохідки та інтенсивну вібрацію бурильного інструменту. Після підйому інструменту на денну поверхню встановлено, що у свердловині залишено долото + 9,3 м КНБК (композови низу бурильної колонії) + КПС-393,7.	Незадовільна якість КПС - 393,7	19,0			19,0	39147,9		39,1	Невідповідність трубно-заготовки сертифікату якості з якої виготовлені КПС	
125	Рудавське-Червонозаводське	Руйнування елемента бурильної колонії	19.02.11р. в процесі поглиблення при вибої 883 м зафіксовано падіння (на 2 подліки по ПВ-6) ваги бурильного інструменту. Після підйому останнього на денну поверхню виявлено злом муфти КПС-393,7 №97 виробництва Прикарпатського УБР. У свердловині залишено: долото + 11,29 м + КНБК + КПС-393,7.	Незадовільна якість КПС - 393,7 (напрацювання 172,75 год)	15,0			15,0	30906,2		30,9	Невідповідність трубно-заготовки сертифікату якості з якої виготовлені КПС	
125	Рудавське-Червонозаводське	Руйнування елемента бурильної колонії	19.02.11р. в процесі поглиблення при вибої 889 м зафіксовано падіння (на 1 подліку по ПВ-6) ваги бурильного інструменту. Після підйому останнього на денну поверхню виявлено злом ніпеля КПС-393,7 №201-09 виробництва Прикарпатського УБР. У свердловині залишено: долото + 9 м + КНБК + КПС-397,3.	Незадовільна якість КПС - 393,7 (напрацювання лише 18,5 год)	17,0			17,0	35027,1		35,0	Невідповідність трубно-заготовки сертифікату якості з якої виготовлені КПС	
125	Рудавське-Червонозаводське	Руйнування елемента бурильної колонії	21.04.11р. після спуску інструменту на глибину 2580 м (вибій - 2590м) і установлення циркуляції відмічено падіння тиску від 70 до 50 атм. Після підйому падіси на денну поверхню виявлено, що нижня частина компоновки відкрутілася по нехолодій заливці різьби між перехідником №22-05, виготовленим Прикарпатським УБР, і бурильними трубами.	Несвоєчасна заміна перехідника (напрацювання складає - 477 год при допустимому 400 год)	22,5			22,5	55886,9		55,9		
125	Рудавське-Червонозаводське	Руйнування елемента бурильної колонії	18.07.11р. в процесі поглиблення (вибій 3615,3 м) відмічено підконтроєння долога: з 12 <sup>00</sup> до 14 <sup>00</sup> години пробурено 0,7 м, до 16 <sup>00</sup> год відмічено зменшення мех.швидкості буріння до 0,05м/год, з 18 <sup>00</sup> прохідка припинилась зовсім. Проведено промивку та подальше СПО, після якого виявилось, що в свердловині залишено 8,83 м бурильного інструменту	Незадовільна якість бурильної труби.	116,0			116,0	330943,0		330,9		
125	Рудавське-Червонозаводське	Руйнування елемента бурильної колонії	10.08.11р. під час поглиблення свердловини при вибої 3767,4 м зафіксовано зникнення ваги (з 67 до 47 поділок по ПВ-6) інструменту та одночасне падіння тиску на стояку від 120 до 100 атм. Після підйому колонії труб на денну поверхню виявлено обрив бурильної труби Ø 127 x 9,19 "Т" на глибині 2630 м	Незадовільна якість бурильної труби.	97,2			97,2	366946,53	3040,76	370	97,15 год браку	
125	Рудавське-Червонозаводське	Втрата герметичності бурильної колонії	29.11.11р. в процесі поглиблення при вибої 4388,5 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=137 атм до Р = 125 атм. В процесі підйому колонії на денну поверхню виявили промітку бурильну трубу Ø 127x9,1 "С-105".	Пошук дефекту, заміна промітної труби	4,5			4,5	15382,2		15,4		
125	Рудавське-Червонозаводське	Втрата герметичності бурильної колонії	09.12.11р в процесі поглиблення при вибої 4466 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=135 атм до Р=124 атм. В процесі підйому колонії на денну поверхню виявили на бурильній трубі Ø 114x8,66 "S-135" виробництва Oil Country Tubular Ltd. (Індія) тріщину 3 x 45 мм	Пошук дефекту, заміна промітної труби	20,0			20,0	76310,3		76,3		

125	Рудієвсько-Червонозаводське	Втрата герметичності бурильної колони	14.12.11р.а процесі поглиблення при вибої 4492 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=135 атм до Р=124 атм. В процесі підйому колони на денну поверхню виявили на бурильній трубі Ø 114x8.56 "S-135" виробництва Oil Solingtu Turbular Ltd. (Індія) тріщину 8 x 35 мм	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби	16,0	16,0	61048,3	61,0	брак об'єкта				
125	Рудієвсько-Червонозаводське	Втрата герметичності бурильної колони	21.12.11р.а процесі поглиблення при вибої 4529 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=140 атм до Р=125 атм. В процесі підйому колони на денну поверхню виявили на бурильній трубі Ø 114x8.56 "S-135" виробництва Oil Solingtu Turbular Ltd. (Індія) тріщину 8 x 45 мм	Незадовільна якість бурильних труб.	Пошук дефекту, заміна промітної труби	16,5	16,5	62956,0	63,0	брак об'єкта				
125	Рудієвсько-Червонозаводське	Втрата герметичності бурильної колони	25.12.11р.а процесі поглиблення при вибої 4547 м відмічено падіння тиску на стояку від Р=140 атм до Р=125 атм. В процесі підйому колони на денну поверхню виявили на бурильній трубі Ø 114x8.56 "S-135" виробництва Oil Solingtu Turbular Ltd. (Індія) тріщину 4 x 130 мм	Незадовільна якість розширювача РШ - 555.	Робота труبینими, магнітними, торцевими фрезами	48,0	48,0	130047,4	130,0	брак об'єкта				
105	Сх.Решетняківське	Руйнування розширювача	24.02.11р. після завершення буріння під кондуктор (вибій 200м) під час підйому інструменту на денну поверхню виявлено, що у свердловині залишено 4 шарошки з опорами від розширювача РШ-555. Проведено спуск і цементування кондуктора до глибини 200,4м, ступенею торцевий фрез (181-200м), долото (200-200,5м), трубний фрез (200,5 - 200,9м), малітний фрез, торцевий фрез - до 201 м.	Неякість порід, схильних до пластичної деформації.	Встановлення нафтової ванни (30м³)	125,0	125,0	312635,0	312,6	брак об'єкта				
105	Сх.Решетняківське	Неякість підготовки стовбура свердловини до спуску обсадної колони	02.04.11р. При спуску ОК отримали посаду на глибині 743 м. Промивка і розхожування результату не дали. Проведено встановлення нафтової ванни, перепідготовку стовбура свердловини	Порушення цілісності нестійких порід перехідної зони з хемогенних до теригенних порід.	Проведення ПВР, установка цементного мосту, переобурювання другого стовбура із глибини 2322 м	1383,3	1383,3	5450703,6	664805,35	брак об'єкта				1383,25 год згідно акту на ускладнення
105	Сх.Решетняківське	Руйнування елемента бурильної колони	04.06.11р. При калібруванні стовбура свердловини в інтервалі 2446 - 2487 відбулося різке зростання моменту з 40-60 до 100 поділок і збільшення тиску від 90 до 150 атм. При підйомі бур.інструменту отримано затяжку до 136 т. Стрєба відновлення циркуляції при одчасному розхожуванні бурильної колони до 1701 - безрезультатна.	Незадовільна якість ОБТ.	Лавильні роботи мілчком-капбором.	21,0	21,0	51757,2	51,8	брак об'єкта				
105	Сх.Решетняківське	Газопроявлення	27.07.11р. при вибої 1325,8 м зафіксоване зменшення ваги інструменту з 59,7 до 52,26 т. Після підйому виявлено злом ОБТ 203 мм по муфті. У свердловині залишено долото 393,7 РСЦНБУ-ОБТ229мм-8,6м+ЦС390++ОБТ229-17,48м+ОБТ203-16,9м. Топова на глибині 1270,8 м	Розкриття горизонтів з АВПТ, підвищені структурно-реологічні властивості бурового розчину.	Дегазація, дообваження бурового розчину, промивання свердловини з протитиском (глушіння).	148,0	148,0	829050,59	1070	брак об'єкта				Розкриття горизонтів з АВПТ, на передбачений ПКД. Буріння свердловини з глибини 2480м після обсадження стовбура свердловини «хвостовиком» Ø245мм проводилося з використанням полімер-капалевого бурового розчину з підвищеними структурно-реологічними властивостями згідно протоколу спільної ГПН НГВУ «Полтавагаз» та Прикарпатського УБР та НДП ПАТ «Укрнафгаз» від 18 серпня 2011р.
105	Сх.Решетняківське	Газопроявлення	11.10.11р. під час потибливання при вибої 2944м відмічено падіння тиску бурового розчину з 1,3 до 1,16 т/см²	Розкриття горизонтів з АВПТ, не передбачений ПКД.	Дегазація та дообваження бурильного розчину	13,8	13,8	42130,0	42,1	брак об'єкта				





80	Решетняківське	Поглиблення	26.06.10р. При виботі 218 м. під час буріння почалося поглинання бурового розчину. Об'єм поглинання близько 50 м <sup>3</sup> .	Наявність в розрізі свердловини схильних до поглинання водоносних пісків і слабкоцементованих рихлих пісковиків палеогенових та крейдяних відкладів	Підготовка в'язкого бурового розчину з наповнювачами, буріння до 230 м. спуск кондуктора і цементування	25,0			об'єкт тивні	25	48	8	56
1	Сх.Калинівське	Прихоплення бурового інструменту	06.07.10р. Під час спуску бурового інструменту після шаблонування і проробки інтервалів з'явилася перед спуском експлуатаційної обсадної колони на глибині 2065 м викинула "посадка". При проведенні промивки на виробствах спостерігався винос піску. Подальший спуск компоновки проводили з промивкою і проборою.	Осміянка пірських порід через порушення цілісності стінок свердловини в інтервалі забу-рвання другого стовбуру свердловини. Суп-чення шламу в інтервалі кавери з наступним його сповзанням у стовбур свердловини.	Проробка стовбуру свердловини х промивкою, очисткою і обробкою бурового розчину. Підйом бурового інструменту з періодичними промивками	229,7			об'єкт тивні	229,7	384	63	447
102	Сх.-Решетняківське	Безуспішне установлення цементного моста	Від 21.12.10 р. по 25.12.10 р. дві невдалі спроби установлення ізоляційного цементного моста в інтервалі 3876 - 3826 м.	Незадовільні тиксотропні властивості бурового розчину.	30.12.2010 р. установлення цементного моста з створенням проміжної опори із буферної суміші СБС за рецептурою НДП.	174,0			суб'єк тивні	174,0	153	21	174
301	Сх.Решетняківське		18.07.11р. В процесі поглиблення свердловини на ділянці 1426-1436 м відбулась козлувція бурового розчину, що призвело до суттєвого зростання його в'язкості і водовіддачі.	Розкриття не передбачених проектом верхньо-девонських відкладів "хепроку" та хемогенних відкладів	Доброброка та регулювання властивостей бурового розчину	41,0			об'єкт тивні	41,0	179	22	201
36	Ярошівське	Неякісне кріплення нижньої секції 245 мм проміжної колоні	25.02.10р. Під час цементування нижньої секції 245 мм проміжної колоні мав місце перелів свердловини. АКД показало відсутність зчеплення цементного каменю з колоною в інтервалі 1795- 2137 м	Неконтрольоване збільшення бішофітової кавери під час промивок і цементування за рахунок розчинення пластових солей в рідинках. Деструкція і втрата здатності до зчеплення цементного розчину від агресивної дії іонів солей					суб'єк тивні	-	-	-	-
36	Ярошівське	Поломка бурильної колоні	12.07.10р. При глибині 3839 м під час буріння мав місце злам бурильної колоні по тілу на відстані 3,5 м від муфти в інтервалі бішофітових покладав	Зміна обсадної колоні в інтервалі бішофітових солей (2309,8 - 2310,4 м), втомне руйнування металу	Буріння свердловини другим стовбуром	1042,0	2 498		об'єкт тивні	1042,0	2 498	69	2567
36	Ярошівське	Порушення цілісності стінок свердловини.	14.03.11р. Під час спуску КНБК для продовження буріння на глибині 3600 м отримано посаду інструменту до 5 т. Під час промивання на виробствах зафіксовано збільшення виносу шламу арпліту, що свідчить про порушення цілісності стінок свердловини.	Обсміянка порід серпухівського ярусу в похило-спрямованому стовбурі свердловини	Промивання свердловини з дообробкою бурового розчину. Проекування пачки високов'язкої рідини об'ємом 20м <sup>3</sup> .	102,0			суб'єк тивні	102,0	324	37	361
36	Ярошівське	Підвищена каверозність стовбура свердловини	В інтервалі 2610-4007 коефіцієнт каверозності складає 1,55. Для порівняння - в сх.№38-Ярошівська (інтервал 2633-3955) - 1,24.	Невідповідність бурового розчину умовам споруджування свердловини.					суб'єк тивні	-	-	-	-

Дані бурових робіт на свердловині №9 Микуличинська

Додаток Е

№	Дата	Долото				Робота долота				Параметри режиму буріння					Компоновка нису колони	Параметри промивальної рідини				Код спрацювання долота			Спосіб буріння	Стратиграфічний розріз	
		Типорозмір	Заводський №	Код АДС	Розмір і кількість насадок	Інтервал	Довжина, м	Технологічна операція	Час операції (год)	Швидкість операції, м/год	Тривалість СТО, год	Навантаження на долото, Кн	Тиск на стяку, МПа	Продуктивність насосів, ліс		Швидкість обертання долота, об/хв	Момент на роторі, к*м	Густина (г/см <sup>3</sup> )	Умова в'язкість (с)	Водовіддача (см <sup>3</sup> за 30 хв)	СНЧ <sup>тис</sup> (АПа)	забурення			по опорі
1	25.05.2006	295.3 С-ГВ	117	-	-	0	46	Буріння	41,25	1,12	0	3	20	-	70	-	1,15	50	12	-	-	-	-	Роторний	Q, K2st
2	28.05.2006	295.3 С-ГВ	117	-	-	11	46	Розширення	19,75	1,77	0	3	20	-	70	-	1,15	50	12	-	-	-	-	Роторний	K2st
3	29.05.2006	295.3 С-ГВ	117	-	розбурювання (крин)	22	30	Розбурювання	4,5	1,78	0	3	25	-	70	-	1,15	55	12	-	-	-	-	Роторний	K2st
4	29.05.2006	295.3 С-ГВ	117	-	-	46	96	Буріння	18,75	2,67	0,5	3	25	-	70	-	1,15	55	12	-	-	-	-	Роторний	K2st
5	30.05.2006	295.3 С-ГВ	117	-	-	96	122	Буріння	20,25	1,28	1,75	3	25	-	70	-	1,15	70	12	-	-	-	-	Роторний	K2st
6	31.05.2006	295.3 С3-ГВ	0710705	-	-	122	130	Буріння	8	1,00	0,5	11	30	-	70	-	1,15	25	12	-	-	-	-	Роторний	K2st
7	01.06.2006	295.3 С3-ГВ	0710705	-	-	130	134	Буріння	15	0,27	1,25	11	30	-	60	-	1,18	60	12	90/130	3	1	1	Роторний	K2st
8	01.06.2006	295.3 С-ГВ	0011105	-	-	134	144	Буріння	33,75	0,30	1,5	11	30	-	60	-	1,18	60	12	90/130	2	2	1	Роторний	K2st



9	03.06.2006	295.3 С3-ГВ	0720705	-	-	144	160	16	Буріння	26,25	0,61	2,25	11	30	-	60	-	КПС295.3 + ОБТ229-7.5м + РШ394 + КПС394 + ОБТ229-8.7м + КПС394 + ОБТ229-16.6м + ОБТ203-36.7м	1,18	60	12	90/130	2	2	2	Роторний	К2st		
10	10.06.2006	295.3 С-ГВ	0011105	-	розбурювання (кфп)	147	160	13	Розбурювання	4,5	2,89	5	3	-	60	-	60	-	КПС295.3 + ОБТ229-7.5м + РШ394 + КПС394 + ОБТ229-8.7м + КПС394 + ОБТ229-16.6м + ОБТ203-36.7м	1,19	50	12	55/98	-	-	-	Роторний	К2st	
11	10.06.2006	295.3 С-ГВ	0011105	-	-	160	163	3	Буріння	2,5	1,20	5	12	-	60	-	60	-	КПС295.3 + ОБТ229-7.5м + РШ394 + КПС394 + ОБТ229-8.7м + КПС394 + ОБТ229-16.6м + ОБТ203-36.7м	1,19	50	12	55/98	-	-	-	Роторний	К2st	
12	10.06.2006	295.3 С3-ГВ	0340705	-	-	163	218	55	Буріння	29,5	1,86	2	12	-	60	-	60	-	КПС295.3 + ОБТ229-7.5м + РШ394 + КПС394 + ОБТ229-8.7м + КПС394 + ОБТ229-16.6м + ОБТ203-36.7м	1,19	50	12	55/98	3	1	2	Роторний	К2st	
13	12.06.2006	295.3 С3-ГВ	0350205	-	-	218	248	30	Буріння	30	1,00	1,75	12	30	-	60	-	60	-	КПС295.3 + ОБТ229-7.5м + РШ394 + КПС394 + ОБТ229-8.7м + КПС394 + ОБТ229-16.6м + ОБТ203-36.7м	1,21	40	6	152/241	3	1	1	Роторний	К2st
14	13.06.2006	295.3 С3-ГВ	0670705	-	-	248	275	27	Буріння	25,5	1,06	3,25	12	30	-	60	-	60	-	КПС295.3 + ОБТ229-7.5м + РШ394 + КПС394 + ОБТ229-8.7м + КПС394 + ОБТ229-16.6м + ОБТ203-36.7м	1,21	50	12	130/165	3	2	1	Роторний	К2st
15	15.06.2006	295.3 С3-ГВ	0740106	-	-	275	282	7	Буріння	7,5	0,93	4,25	6	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	123	45	6	190/230	3	2	1	Турбинний	К2st	
16	15.06.2006	295.3 С3-ГВ	0510705	-	-	282	307	25	Буріння	16,25	1,54	4,25	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	123	45	6	190/230	4	1	2	Турбинний	К2st	
17	16.06.2006	295.3 С3-ГВ	0340205	-	-	307	340	33	Буріння	13,5	2,44	3,5	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	55	6	174/210	4	1	2	Турбинний	К2st	
18	17.06.2006	295.3 С3-ГВ	0910106	-	-	340	358	18	Буріння	13	1,38	3	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	40	7	50/78	3	1	3	Турбинний	К2st	
19	18.06.2006	295.3 С3-ГВ	0830106	-	-	358	374	16	Буріння	13,75	1,16	2,5	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	55	6	50/78	3	1	3	Турбинний	К2st	
20	19.06.2006	295.3 С3-ГВ	0750106	-	-	374	386	12	Буріння	11,75	1,02	1	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	55	7	55/80	-	-	-	Турбинний	К2st	
21	20.06.2006	295.3 С3-ГВ	0850106	-	-	386	395	9	Буріння	9,75	0,92	2,75	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	40	7	50/78	4	1	3	Турбинний	К2st	
22	20.06.2006	295.3 С3-ГВ	0780106	-	-	395	410	15	Буріння	13	1,15	2	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	40	7	50/78	4	1	3	Турбинний	К2st	
23	21.06.2006	295.3 С3-ГВ	0790106	-	-	410	420	10	Буріння	9,25	1,08	2,75	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	40	7	55/85	3	1	2	Турбинний	К2st	
24	22.06.2006	295.3 С3-ГВ	0760106	-	-	420	437	17	Буріння	12,25	1,39	1,75	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	40	6	55/85	4	4	2	Турбинний	К2st	
25	23.06.2006	295.3 С3-ГВ	0800106	-	-	437	456	19	Буріння	15	1,27	2	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	40	6	55/88	4	1	3	Турбинний	К2st	
26	23.06.2006	295.3 С3-ГВ	0890106	-	-	456	479	23	Буріння	12,25	1,88	2,25	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	40	6	55/88	4	2	2	Турбинний	К2st	
27	24.06.2006	295.3 С3-ГВ	1760106	-	-	479	485	6	Буріння	4	1,50	1	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,23	40	6	55/85	4	3	4	Турбинний	К2st	
28	25.06.2006	295.3 С3-ГВ	0820106	-	-	485	506	21	Буріння	12,75	1,85	4,75	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,24	25	6	13/23	4	3	4	Турбинний	К2st	
29	26.06.2006	295.3 С3-ГВ	0810106	-	проробка	494	506	12	Проробка	2	6,00	1	8	100	-	Турбинний	-	Турбинний	АВШ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,24	30	7	12/41	-	-	-	Турбинний	К2st	

30	27.06.2006	295.3 СЗ-ГВ	0810 106	-	-	506	516	10	Буріння	11,25	0,89	2,75	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,24	30	7	12/41	2	3	4	Турбінний	К2st
31	27.06.2006	295.3 СЗ-ГВ	0840 106	-	-	516	548	32	Буріння	13,5	2,37	5	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,24	30	7	12/41	2	3	4	Турбінний	К2st
32	28.06.2006	295.3 СЗ-ГВ	0770 106	-	-	548	560	12	Буріння	12,5	0,96	4	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,24	30	7	12/41	2	3	4	Турбінний	К2st
33	29.06.2006	295.3 С-ГВ	0350 106	-	-	560	579	19	Буріння	9,25	2,05	1,5	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,24	35	7	14/36	2	3	4	Турбінний	К2st
34	30.06.2006	295.3 С-ГВ	1020 206	-	-	579	608	29	Буріння	11,5	2,52	3,5	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + ОБТ203-27.3м	1,24	35	7	14/38	2	3	4	Турбінний	К2st
35	01.07.2006	295.3 С-ГВ	0400 206	-	-	608	614	6	Буріння	7,75	0,77	3,25	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2.45 +	1,24	40	8	16/42	1	3	1	Турбінний	К2st
36	01.07.2006	295.3 С-ГВ	149 206	-	-	614	627	13	Буріння	11	1,18	3,25	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2.45 +	1,24	40	8	16/42	3	3	2	Турбінний	К2st
37	07.07.2006	295.3 СЗ-ГВ	0870 106	-	-	627	636	9	Буріння	9,75	0,92	2,5	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2.45 + ОБТ203-25м	1,24	40	6	25/72	1	2	3	Турбінний	К2st
38	07.07.2006	295.3 СЗ-ГВ	1340 306	-	-	636	647	11	Буріння	12	0,92	1,5	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2.45 + ОБТ203-25м	1,24	40	6	25/72	1	3	1	Турбінний	К2st
39	09.07.2006	295.3 СЗ-ГВ	1310 306	-	-	647	657	10	Буріння	12,5	0,80	8,25	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2 + ОБТ203-25м	1,26	105	7	168/260	1	3	1	Турбінний	К2st
40	09.07.2006	295.3 СЗ-ГВ	1330 306	-	-	657	670	13	Буріння	16	0,81	4	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2 + ОБТ203-25м	1,26	105	7	168/260	1	3	1	Турбінний	К2st
41	10.07.2006	295.3 СЗ-ГВ	1320 306	-	-	670	682	12	Буріння	15	0,80	3,25	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2 + ОБТ203-25м	1,26	100	7	168/260	1	3	1	Турбінний	К2st
42	11.07.2006	295.3 СЗ-ГВ	1300 306	-	-	682	702	20	Буріння	16	1,25	3,5	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2 + ОБТ203-25м	1,26	50	6	69/132	1	3	1	Турбінний	К2st
43	12.07.2006	295.3 СЗ-ГВ	126 306	-	-	702	712	10	Буріння	10,75	0,93	3,5	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2 + ОБТ203-25м	1,24	80	5	131/173	1	3	1	Турбінний	К2st
44	13.07.2006	295.3 СЗ-ГВ	121 306	-	-	712	742	30	Буріння	21,25	1,41	4,5	8	60	-	Турбінний	-	АШУ240-9.2м + кр.лер 2 + ОБТ203-25м	1,24	80	5	131/173	1	3	1	Турбінний	К2st
45	16.07.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	703	736	33	Проробка	5,5	6,00	1,5	16	35	-	Роторний	-	КПС292.6 + ОБТ229-25м + ОБТ203-73.2м	1,24	45	7	25/47	-	-	-	Роторний	К2st
46	16.07.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	742	769	27	Буріння	36,5	0,74	1,5	16	35	-	Роторний	-	КПС292.6 + ОБТ229-25м + ОБТ203-73.2м	1,24	45	7	25/47	-	-	-	Роторний	К2st
47	18.07.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	769	788	19	Буріння	25,25	0,75	5	16	35	-	Роторний	-	КПС292.6 + ОБТ229-25м + ОБТ203-73.2м	1,24	45	7	25/47	-	-	-	Роторний	К2st
48	19.07.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	788	848	60	Буріння	85,25	0,70	3,5	16	35	-	Роторний	-	КПС292.6 + ОБТ229-25м + ОБТ203-73.2м	1,24	45	7	25/47	-	-	-	Роторний	К2st
49	24.07.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	848	885	37	Буріння	62,25	0,59	3,75	16	35	-	Роторний	-	КПС292.6 + ОБТ229-25м + ОБТ203-73.2м	1,26	60	6	59/98	-	-	-	Роторний	К2st
50	27.07.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	885	970	85	Буріння	107,5	0,79	4,75	16	40	-	Роторний	-	КПС294.6 + ОБТ229-38м + ОБТ203-92м	1,26	70	6	130/154	-	-	-	Роторний	К2st
51	01.08.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	970	982	12	Буріння	14,75	0,81	7,5	16	40	-	Роторний	-	КПС294.6 + ОБТ229-38м + ОБТ203-92м	1,26	120	6	130/160	-	-	-	Роторний	К2st
52	02.08.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	982	990	8	Буріння	7,75	1,03	2,75	16	40	-	Роторний	-	КПС294.6 + ОБТ229-38м + ОБТ203-92м	1,26	120	6	130/160	-	-	-	Роторний	К2st
53	03.08.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	990	1080	90	Буріння	90	1,00	14	16	40	-	Роторний	-	КПС294.6 + ОБТ229-38м + ОБТ203-92м	1,26	120	6	130/160	-	-	-	Роторний	К2st, N1vr
54	17.08.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	1080	1160	80	Буріння	36,25	2,21	17	16	40	-	Роторний	-	КПС294.6 + ОБТ229-38м + ОБТ203-92м	1,26	кп	6	300/300	-	-	-	Роторний	N1vr
55	17.08.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040 796	-	-	1092	1160	68	Проробка	31,75	2,14	3	16	40	-	Роторний	-	КПС294.6 + ОБТ229-38м + ОБТ203-92м	1,26	кп	6	300/300	-	-	-	Роторний	N1vr

56	19.08.2006	295.3 МХ-30 (б.в.)	6040796	-	-	1160	1316	156	Буріння	54,25	2,88	12,75	16	40	-	Роторний	-	1,32	120	11	159/187	3	1	5	Роторний	N1vr
57	22.08.2006	295.3 С-ГВ	0440206	-	-	1316	1390	74	Буріння	33,5	2,21	7,5	16	40	-	Роторний	-	1,36	95	12	42/80	1	3	0	Роторний	N1vr
58	24.08.2006	295.3 С3-ГВ	0550606	-	-	1390	1469	79	Буріння	50	1,58	10,25	16	40	-	Роторний	-	1,36	95	10	29/58	-	-	-	Роторний	N1vr
59	29.08.2006	295.3 С3-ГВ	0550606	-	проробка	820	837	17	Проробка	1	17,00	6,5	3	40	-	Роторний	-	1,34	100	11,5	42/56	-	-	-	Роторний	K2st
60	29.08.2006	295.3 С3-ГВ	0550606	-	-	1469	1552	83	Буріння	51,25	1,62	5	16	40	-	Роторний	-	1,34	100	11,5	42/56	1	2	0	Роторний	N1vr
61	01.09.2006	295.3 SKH217	05446	-	-	1552	1635	83	Буріння	56,5	1,47	9,75	10	40	23	60	-	1,44	195	9	129/171	-	-	-	Роторний	N1vr
62	04.09.2006	295.3 SKH217	05446	-	-	1635	1674	39	Буріння	31,5	1,24	14,5	14	40	24	60	-	1,42	200	9,5	115/180	-	-	-	Роторний	N1vr, N1pl
63	06.09.2006	295.3 SKH217	05446	-	-	1674	1682	8	Буріння	19,75	0,41	10,25	14	40	25	60	-	1,42	170	9,5	67/124	1	0	1	Роторний	N1pl
64	09.09.2006	295.3 С3-ГВ	0610606	-	-	1682	1696	14	Буріння	75	0,19	7,75	14	45	26	60	-	1,42	290	10	63/115	1	3	1	Роторний	N1pl
65	12.09.2006	295.3 С3-ГВ	1020106	-	-	1696	1710	14	Буріння	84	0,17	3,25	14	30	26	60	-	1,42	190	10	71/122	3	2	1	Роторний	N1pl
66	16.09.2006	295.3 С3-ГВ	0030706	-	-	1710	1722	12	Буріння	60,75	0,20	13,5	14	30	26	60	-	1,4	140	11	117/141	1	3	1	Роторний	N1pl
67	20.09.2006	295.3 С3-ГВ	0520606	-	-	1722	1725	3	Буріння	12,25	0,24	10	14	30	26	60	-	1,38	280	11	126/144	4	2	2	Роторний	N1pl
68	21.09.2006	295.3 С3-ГВ	0520606	-	-	1725	1737	12	Буріння	68,25	0,18	9,25	14	30	26	60	-	1,41	155	12	96/114	-	-	-	Роторний	N1pl
69	25.09.2006	295.3 SKH217	05446	-	-	1737	1740	3	Буріння	12	0,25	3,5	14	30	26	60	-	1,4	110	11	72/104	-	-	-	Роторний	N1pl
70	26.09.2006	295.3 SKH217	05446	-	-	1740	1751	11	Буріння	22,25	0,49	13,5	14	30	26	60	-	1,4	180	12	72/100	-	-	-	Роторний	N1pl
71	27.09.2006	295.3 SKG215G	04815	-	-	1751	1793	42	Буріння	74	0,57	3,5	14	30	26	60	-	1,4	140	11	78/102	-	-	-	Роторний	N1pl
72	01.10.2006	295.3 SKG215G	04815	-	-	1793	1807	14	Буріння	37	0,38	8,5	14	30	-	60	-	1,41	150	8	107/153	1	1	1	Роторний	N1pl
73	08.10.2006	295.3 С3-ГВ	0040706	-	-	1807	1809	2	Буріння	4	0,50	37,75	12	110	45	60	-	1,41	105	11	52/88	3	3	1	Роторний	N1pl
74	09.10.2006	295.3 С3-ГВ	0510606	-	-	1809	1814	5	Буріння	16	0,31	9	8	100	45	Турбінний	-	1,41	80	9	68/96	1	3	2	Турбінний	N1pl
75	10.10.2006	295.3 С3-ГВ	0860306	-	-	1814	1815	1	Буріння	2	0,50	4	8	80	45	Турбінний	-	1,41	115	9	58/92	-	-	-	Турбінний	N1pl
76	12.10.2006	295.3 С3-ГВ	0860306	-	-	1815	1825	10	Буріння	20,5	0,49	17	8	100	-	Турбінний	-	1,38	120	9	60/98	2	3	3	Турбінний	N1pl

77	14.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0880306	-	-	1825	1833	8	Буріння	18,25	0,44	11	8	90	45	Турбінний	-	А9Ш240-9.9М + ГУОБІТ-7.2М + ОБТ203-18.2М	1,38	130	9	60/98	1	3	1	Турбінний	№1рл
78	15.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0130506	-	-	1833	1838	5	Буріння	19,75	0,25	10	8	90	45	Турбінний	-	А9Ш240-9.9М + пер 1.5град-0.4М + ОБТ203-18.2М	1,38	130	9	64/102	2	4	1	Турбінний	№1рл
79	17.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0020706	-	-	1838	1840	2	Буріння	6,5	0,31	6	10	90	-	Турбінний	-	А9Ш240-9.9М + пер 1.5град-0.4М + ОБТ203-18.2М	1,38	130	9	64/105	-	-	-	Турбінний	№1рл
80	18.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0020706	-	-	1840	1841	1	Буріння	3	0,33	11	10	90	-	Роторний	-	А9Ш240-9.9М + пер 1.5град-0.4М + ОБТ203-18.2М	1,4	140	9	68/102	2	2	1	Роторний	№1рл
81	18.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0210506	-	-	1841	1844	3	Буріння	6,75	0,44	6	10	90	-	Роторний	-	А9Ш240-9.9М + пер 1.5град-0.4М + ОБТ203-18.2М	1,4	140	9	68/102	-	-	-	Роторний	№1рл
82	19.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0210506	-	-	1844	1846	2	Буріння	2,5	0,80	10,75	12	80	45	Турбінний	-	А9Ш240-9.9М + пер 1.5град-0.4М + ОБТ203-18.2М	1,4	140	9	68/118	1	3	1	Турбінний	№1рл
83	20.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0360306	-	-	1846	1853	7	Буріння	12	0,58	11	12	80	45	Турбінний	-	А9Ш240-9.9М + пер 1.5град-0.4М + ОБТ203-18.2М	1,4	150	9	104/137	1	4	1	Турбінний	№1рл
84	21.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0740306	-	-	1853	1866	13	Буріння	19,5	0,67	10,25	12	80	45	Турбінний	-	А9Ш240-9.9М + пер 1.5град-0.4М + ОБТ203-18.2М	1,4	170	9	103/132	2	4	2	Турбінний	№1рл
85	25.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0660306	-	-	1866	1874	8	Буріння	21,5	0,37	12,25	14	30	22	-	-	КПС295.3-1.1М + ОБТ229-8.8М + КПС295.3-1.1М + ОБТ229-7.5М + ОБТ203-36.1М	1,4	100	9	68/94	2	3	2	Роторний	№1рл
86	27.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0500306	-	-	1874	1884	10	Буріння	15,25	0,66	9,5	8	120	45	Турбінний	-	А9Ш-9.7М + КД. пер 1.75-0.3М + ГУОБІТ-7.2М + ОБТ203-9.3М	1,38	125	9,5	72/119	2	3	2	Турбінний	№1рл
87	29.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0030306	-	-	1884	1894	10	Буріння	18,5	0,54	9,75	8	120	45	Турбінний	-	А9Ш-9.7М + КД. пер 1.75-0.3М + ГУОБІТ-7.2М + ОБТ203-9.3М	1,39	120	9,5	108/132	1	3	2	Турбінний	№1рл
88	30.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0110506	-	-	1894	1903	9	Буріння	10	0,90	5,25	8	110	45	Роторний	-	А9Ш-9.7М + КД. пер 1.75-0.3М + ГУОБІТ-7.2М + ОБТ203-9.3М	1,39	150	9	79/122	-	-	-	Роторний	№1рл
89	31.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	0110506	-	-	1903	1905	2	Буріння	1,25	1,60	10	8	110	45	Турбінний	-	ОБТ229-15.9М + КПС295.3-1.1М + ОБТ203-73.2М	1,39	150	9	79/122	1	4	1	Турбінний	№1рл
90	31.10.2006	295.3 СЗ-ГВ	1000106	-	-	1905	1913	8	Буріння	4,5	1,78	4,25	8	110	45	Турбінний	-	ОБТ229-15.9М + КПС295.3-1.1М + ОБТ203-73.2М	1,39	150	9	79/122	-	-	-	Турбінний	№1рл
91	01.11.2006	295.3 СЗ-ГВ	1000106	-	-	1913	1927	14	Буріння	91,5	0,15	10,5	12	40	25	60	-	ОБТ229-15.9М + КПС290.5 + ОБТ203-73.2М	1,3	150	9,5	64/100	1	4	1	Роторний	№1рл
92	06.11.2006	295.3 С-ГВ	0160206	-	-	1927	1941	14	Буріння	35,5	0,39	17,75	14	40	-	60	-	ОБТ229-15.9М + КПС290.5 + ОБТ203-73.2М	1,36	130	9,5	44/81	1	2	2	Роторний	№1рл
93	08.11.2006	295.3 СЗ-ГВ	0510306	-	-	1941	1956	15	Буріння	44,75	0,34	16,5	14	40	-	60	-	ОБТ229-15.9М + КПС290.5 + ОБТ203-73.2М	1,36	150	10	52/102	1	3	-	Роторний	№1рл
94	11.11.2006	295.3 СЗ-ГВ	0700306	-	-	1942	1956	14	Проробка	0,5	28,00	12,25	14	40	-	60	-	ОБТ229-8.8М + КПС290.5 + ОБТ229-12.6М + ОБТ203-82.3М	1,37	160	9,5	125/158	1	3	1	Роторний	№1рл
95	11.11.2006	295.3 СЗ-ГВ	0700306	-	-	1956	1963	7	Буріння	33,25	0,21	12,25	14	40	-	60	-	ОБТ229-8.8М + КПС290.5 + ОБТ229-12.6М + ОБТ203-82.3М	1,37	160	9,5	125/158	1	3	1	Роторний	№1рл
96	13.11.2006	295.3 СЗ-ГВ	0010306	-	-	1963	1973	10	Буріння	39,75	0,25	8,25	14	40	29	60	-	ОБТ229-8.8М + КПС290.5 + ОБТ229-12.6М + ОБТ203-82.3М	1,38	170	9,5	83/132	1	3	1	Роторний	№1рл
97	15.11.2006	295.3 С-ГВ	1140206	-	-	1973	1987	14	Буріння	23	0,61	10	14	40	-	Роторний	-	ОБТ229-8.8М + КПС290.5 + ОБТ229-12.6М + ОБТ203-82.3М	1,38	300	9,5	122/158	1	2	1	Роторний	№1рл

98	17.11.2006	295.3 МХ-30	6051706	-	-	1987	2017	30	Буріння	96,75	0,31	7,75	14	40	-	60	-	ОБТ229-8.6м + КПС290.5 + ОБТ229-12.6м + ОБТ203-82.3м	1,36	270	10	119/147	-	-	Роторний	Н1рл	
99	22.11.2006	295.3 МХ-30	6051706	-	-	2017	2027	10	Буріння	40,75	0,25	14,75	16	50	29	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-82.3м	1,38	210	10	160/190	-	-	Роторний	Н1рл	
100	24.11.2006	295.3 МХ-30	6051706	-	-	2027	2084	57	Буріння	124	0,46	17,25	16	50	29	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-82.3м	1,38	300	9,5	158/184	3	1	1	Роторний	Н1рл
101	30.11.2006	295.3 С-ГВ	1230206	-	-	2084	2094	10	Буріння	17,25	0,58	7,5	16	50	-	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-82.3м	1,3	200	10	158/197	-	-	Роторний	Н1рл	
102	01.12.2006	295.3 С-ГВ	1230206	-	-	2094	2097	3	Буріння	13,75	0,22	13,25	16	50	29	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,38	300	10	146/178	1	3	1	Роторний	Н1рл
103	02.12.2006	295.3 МХ-30	6051706	-	-	2097	2098	1	Буріння	3,25	0,31	4,75	16	60	29	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,37	кп	10	176/224	-	-	Роторний	Н1рл	
104	03.12.2006	295.3 С-ГВ	0110106	-	-	2073	2098	25	Проробка	3	8,33	17,25	14	50	-	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,44	кп	10	174/222	1	3	2	Роторний	Н1рл
105	03.12.2006	295.3 С-ГВ	0110106	-	-	2098	2112	14	Буріння	40,75	0,34	17,25	14	50	-	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,44	кп	10	174/222	1	3	2	Роторний	Н1рл
106	07.12.2006	295.3 МХ-30	6051706	-	-	2112	2151	39	Буріння	137,8	0,28	14,5	18	80	29	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,45	кп	10	148/190	-	-	Роторний	Н1рл	
107	14.12.2006	295.3 С-ГВ (б.в.)	1210206	-	-	2151	2155	4	Буріння	9,25	0,43	8,25	16	60	-	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,43	300	9,5	190/250	-	-	Роторний	Н1рл	
108	14.12.2006	295.3 С-ГВ (б.в.)	1210206	-	-	2155	2170	15	Буріння	23,75	0,63	10,25	16	60	-	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,43	300	9,5	190/250	1	3	0	Роторний	Н1рл
109	16.12.2006	295.3 МХ-30	6051781	-	-	2170	2214	44	Буріння	139,8	0,31	14,25	16	65	29	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,44	300	10	150/230	1	1	1	Роторний	Н1рл
110	23.12.2006	295.3 С3-ГВ	0050306	-	-	2214	2235	21	Буріння	64,5	0,33	16,5	18	50	-	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,43	300	10	198/243	3	4	1	Роторний	Н1рл
111	27.12.2006	295.3 С3-ГВ	0250606	-	-	2235	2245	10	Буріння	49,5	0,20	13	17	50	29	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,43	300	9,5	162/208	3	4	1	Роторний	Н1рл, Р3м3
112	30.12.2006	295.3 С3-ГВ	0730306	-	-	2245	2254	9	Буріння	26,75	0,34	4,75	16	50	-	60	-	ОБТ229-21.4м + КПС290.5 + ОБТ203-80.6м	1,43	300	10	189/228	-	-	Роторний	Р3м3	
113	01.01.2007	295.3 С3-ГВ	0730306	-	-	2254	2260	6	Буріння	13,75	0,44	11,25	16	50	29	60	-	ОБТ229-18.6м + КПС291.6 + ОБТ229-80.8м	1,43	300	9,5	142/175	1	3	1	Роторний	Р3м3
114	03.01.2007	295.3 С-ГВ	1140206	-	калібров. (крп)	1871	1883	12	Калібрування	2,75	4,36	6,25	3	50	-	60	-	ОБТ229-18.6м + КПС291.6 + ОБТ229-80.8м	1,42	300	9,5	152/186	-	-	Роторний	Н1рл	
115	03.01.2007	295.3 С-ГВ	1140206	-	калібров. (крп)	1908	1920	12	Калібрування	2	6,00	6,25	3	50	-	60	-	ОБТ229-18.6м + КПС291.6 + ОБТ229-80.8м	1,42	300	9,5	152/186	-	-	Роторний	Н1рл	
116	03.01.2007	295.3 С-ГВ	1140206	-	калібров. (крп)	1920	2115	19	Калібрування	7	27,86	6,25	3	50	-	60	-	ОБТ229-18.6м + КПС291.6 + ОБТ229-80.8м	1,42	300	9,5	152/186	-	-	Роторний	Н1рл	
117	03.01.2007	295.3 С-ГВ	1140206	-	калібров. (крп)	2115	2260	14	Калібрування	6,5	22,31	6,25	3	50	-	60	-	ОБТ229-18.6м + КПС291.6 + ОБТ229-80.8м	1,42	300	9,5	152/186	-	-	Роторний	Н1рл, Р3м3	
118	06.01.2007	295.3 С-ГВ	1140206	-	проробка (крп)	2249	2260	11	Проробка	0,5	22,00	18,75	3	45	-	60	-	КПС293.5 + ОБТ229-8.1м + КПС291.6 + ОБТ229-81.5м	1,41	300	10	75/116	-	-	Роторний	Р3м3	
119	22.01.2007	215.9 С3-ГВ	0900905	-	розбур./м(крп)	956	958	2	Розбурювання	18	0,11	18,75	3	20	22	60	-	295.3С3ГВ-0.3м + ОБТ178-37.5м	1,31	60	10	33/38	-	-	Роторний	К2ст	
120	23.01.2007	215.9 С3-ГВ	0900905	-	розбур./м(крп)	958	959	1	Розбурювання	2,25	0,44	18,75	4	15	22	60	-	295.3С3ГВ-0.3м + ОБТ178-37.5м	1,31	90	11	50/70	-	-	Роторний	К2ст	
121	23.01.2007	215.9 С3-ГВ	0900905	-	розбур./м(крп)	2208	2226	18	Розбурювання	1,5	12,00	18,75	4	15	22	60	-	295.3С3ГВ-0.3м + ОБТ178-37.5м	1,31	90	11	50/70	-	-	Роторний	Н1рл	
122	23.01.2007	215.9 С3-ГВ	0900905	-	розбур./м(крп)	2226	2237	11	Розбурювання	18	0,61	18,75	4	15	22	60	-	295.3С3ГВ-0.3м + ОБТ178-37.5м	1,31	90	11	50/70	-	-	Роторний	Н1рл	

123	24.01.2007	215.9 С3-ГВ	0900 905	-	-	розбур./м(крп)	2237	2250	13	Розбурювання	15,75	0,83	18,75	4	30	22	60	-	295.3С3ГВ-0,3м + ОБТ178-37,5м	1,31	90	11	50/70	-	-	Роторний	Р3мі3	
124	25.01.2007	215.9 С3-ГВ	0900 905	-	розбур./м(крп)	2250	2260	2260	10	Розбурювання	10,75	0,93	18,75	4	30	22	60	-	295.3С3ГВ-0,3м + ОБТ178-37,5м	1,29	45	15	32/49	-	-	Роторний	Р3мі3	
125	26.01.2007	215.9 С3-ГВ	0900 905	-	-	2260	2261	2261	1	Буріння	7,5	0,13	18,75	4	30	22	60	-	шлямовока-1,2м + ОБТ178-132,5м	1,3	30	17	18/38	2	3	1	Роторний	Р3мі3
126	29.01.2007	215.9 Г3-ГВ	899	-	-	2261	2266	2266	5	Буріння	17,75	0,28	14,5	14	45	20	60	-	Доп215.9-0,2м + ОБТ178-132,5м	1,27	40	6	3/12	-	-	Роторний	Р3мі3	
127	30.01.2007	215.9 Г3-ГВ	899	-	2266	2271	2271	2271	5	Буріння	11,25	0,44	4,5	17	50	20	60	-	Доп215.9-0,2м + ОБТ178-132,5м	1,27	40	6	4/8	1	0	1	Роторний	Р3мі3
128	31.01.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2271	2294	2294	23	Буріння	23,5	0,98	4,5	17	50	20	60	-	Доп215.9-0,2м + ОБТ178-157,2м	1,26	40	6	18/49	-	-	Роторний	Р3мі3, Р3мі2	
129	01.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2294	2332	2332	38	Буріння	72,25	0,53	4,5	17	50	20	60	-	ОБТ178-157,2м	1,25	35	6	3/10	-	-	Роторний	Р3мі2	
130	06.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2332	2333	2333	1	Буріння	1,25	0,80	18	17	50	22	60	-	295.3С3-ГВ-0,2м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,4м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,24	35	4	3/8	-	-	Роторний	Р3мі2	
131	08.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2333	2363	2363	30	Буріння	56,25	0,53	12,5	17	45	22	65	-	295.3С3-ГВ-0,2м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,4м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,24	35	4,5	2/8	-	-	Роторний	Р3мі2	
132	11.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2363	2381	2381	18	Буріння	28,5	0,63	0,75	17	45	22	60	-	295.3С3-ГВ-0,2м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,4м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,23	38	4	2/8	-	-	Роторний	Р3мі2, Р3мі1	
133	13.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2381	2426	2426	45	Буріння	44	1,02	10,25	17	50	20	60	-	295.3С3-ГВ-0,2м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,4м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,23	40	4	2/8	-	-	Роторний	Р3мі1	
134	19.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	проробка	2354	2397	2397	43	Проробка	3,25	13,23	18,75	3	45	22	60	-	КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,6м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,16	40	5,5	60/108	-	-	Роторний	Р3мі2, Р3мі1	
135	19.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	проробка	2397	2426	2426	29	Проробка	4,75	6,11	1	3	45	22	60	-	КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,6м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,16	40	5,5	60/108	-	-	Роторний	Р3мі1	
136	20.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2426	2433	2433	7	Буріння	7	1,00	13,5	17	45	22	60	-	КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,6м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,16	40	6	62/93	-	-	Роторний	Р3мі1	
137	21.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2433	2451	2451	18	Буріння	15	1,20	0,5	17	45	22	60	-	КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,6м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,15	45	6	83/112	-	-	Роторний	Р3мі1	
138	21.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2451	2466	2466	15	Буріння	13	1,15	0,75	17	45	22	60	-	КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,6м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,15	45	6	83/112	-	-	Роторний	Р3мі1	
139	22.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2466	2475	2475	9	Буріння	7,25	1,24	0,5	17	45	22	60	-	КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,6м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,15	50	5,5	50/80	-	-	Роторний	Р3мі1	
140	22.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2475	2483	2483	8	Буріння	7,25	1,10	0,25	17	45	22	60	-	КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,6м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,15	50	5,5	50/80	-	-	Роторний	Р3мі1	
141	23.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2483	2495	2495	12	Буріння	15,75	0,76	0,75	17	45	22	60	-	КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,6м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,16	55	5,5	79/104	-	-	Роторний	Р3мі1	
142	23.02.2007	215.9 С3-ГВ	0940 506	-	-	2495	2510	2510	15	Буріння	13,75	1,09	0,75	17	45	22	60	-	КПС215.9-1,1м + ОБТ178-8,6м + КПС215.9-1,1м + ОБТ178-148,6м	1,16	55	5,5	79/104	-	-	Роторний	Р3мі1	

143	25.02.2007	215.9 С3-ГАУ	0940506	-	-	15	Буріння	13,75	1,09	15	17	50	22	60	-	60	1,16	60	5,5	89/114	1	3	2	Роторний	Р3м1
144	01.03.2007	215.9 С3-ГВ	0530905	-	-	1	Буріння	1	1,00	9,75	17	50	20	60	-	60	1,15	70	5,5	57/88	-	-	-	Роторний	Р3м1
145	02.03.2007	212.7/80 ТКЗ	62654	-	-	7	Буріння	12,25	0,57	11,25	10	30	13,5	60	-	60	1,15	80	5	40/70	2	3	2	Роторний	Р3м1
146	03.03.2007	215.9 С3-ГВ	0530905	-	розширення	7	Розширення ванна	4,75	1,47	12,25	3	50	20	60	-	60	1,15	80	5,5	40/70	-	-	-	Роторний	Р3м1
147	04.03.2007	К212.7/80 ТКЗ	62668	-	-	6	Буріння	11	0,55	11,25	10	30	13,5	60	-	60	1,15	80	5,5	45/88	2	4	2	Роторний	Р3м1
148	06.03.2007	К212.7/80 ТКЗ	62679	-	-	4	Проробка	1	4,00	13,25	10	30	13,2	60	-	60	1,156	80	5,5	97/132	2	4	2	Роторний	Р3м1
149	06.03.2007	К212.7/80 ТКЗ	62679	-	-	7	Буріння	10,5	0,67	13,25	10	30	13,2	60	-	60	1,156	80	5,5	97/132	2	4	2	Роторний	Р3м1
150	07.03.2007	215.9 С3-ГВ	0530905	-	розширення	13	Розширення ванна	16,75	0,78	11,75	3	50	22	60	-	60	1,15	80	5,5	97/132	1	3	2	Роторний	Р3м1
151	09.03.2007	К212.7/80 ТКЗ	62691	-	-	7	Буріння	13,75	0,51	14	10	30	13	60	-	60	1,15	150	6	156/174	3	4	2	Роторний	Р3м1
152	10.03.2007	215.9 С3-ГВ	0810905	-	-	7	Розширення ванна	4,5	1,56	12,75	16	50	22	60	-	60	1,16	120	5,5	147/156	1	3	2	Роторний	Р3м1
153	10.03.2007	215.9 С3-ГВ	0810905	-	-	18	Буріння	19,5	0,92	12,75	16	50	22	60	-	60	1,16	120	5,5	147/156	1	3	2	Роторний	Р3м1
154	13.03.2007	К212.7/80 ТКЗ	62692	-	-	7	Буріння	6,5	1,08	11,75	10	30	13,3	50	-	50	1,15	125	5,5	132/148	2	3	2	Роторний	Р3м1
155	14.03.2007	215.9 С3-ГВ	1421205	-	-	7	Розширення ванна	2	3,50	12,75	17	60	20,5	60	-	60	1,15	100	5,5	138/152	2	3	3	Роторний	Р3м1
156	14.03.2007	215.9 С3-ГВ	1421205	-	-	32	Буріння	22,25	1,44	12,75	17	60	20,5	60	-	60	1,15	100	5,5	138/152	2	3	3	Роторний	Р3м1
157	15.03.2007	К212.7/80 ТКЗ	62663	-	-	7	Буріння	15,25	0,46	15,75	10	30	13,3	50	-	50	1,15	120	5,5	130/148	2	3	3	Роторний	Р3м1
158	19.03.2007	215.9 С3-ГВ	1491205	-	-	6	Розширення ванна	6	1,00	9	17	50	20	60	-	60	1,15	85	5,5	142/165	2	3	3	Роторний	Р3м1
159	19.03.2007	215.9 С3-ГВ	1491205	-	-	17	Буріння	16,75	1,01	9	17	50	20	60	-	60	1,15	85	5,5	142/165	2	3	3	Роторний	Р3м1
160	22.03.2007	215.9 С3-ГВ	0530905	-	-	9	Проробка	6	1,50	18,25	5	50	20	60	-	60	1,14	75	5,5	101/126	-	-	-	Роторний	Р3м1
161	22.03.2007	215.9 С3-ГВ	0530905	-	-	1	Буріння	2,75	0,36	18,25	5	50	20	60	-	60	1,14	75	5,5	101/126	-	-	-	Роторний	Р3м1
162	25.03.2007	215.9 С3-ГВ	1471205	-	-	12	Проробка	2,75	4,36	43,25	10	40	20	60	-	60	1,12	80	5	79/86	2	3	2	Роторний	Р3м1
163	25.03.2007	215.9 С3-ГВ	1471205	-	-	7	Буріння	8,5	0,82	43,25	10	40	20	60	-	60	1,12	80	5	79/86	2	3	2	Роторний	Р3м1
164	30.03.2007	215.9 С3-ГВ	1441205	-	-	18	Буріння	44	0,41	49,25	9	50	20,5	50	-	50	1,19	85	5,5	120/145	-	-	-	Роторний	Р3м1
165	01.04.2007	215.9 С3-ГВ	1441205	-	-	2	Буріння	6,25	0,32	57,5	9	50	20,5	50	-	50	1,19	75	5,5	87/120	1	3	1	Роторний	Р3м1
166	02.04.2007	215.9 С28LFGSP	262	-	-	33	Буріння	47,5	0,69	9	12	80	20	50	-	50	1,19	80	5,5	95/135	-	-	-	Роторний	Р3м1, Р2bs

167	07.04.2007	215.9 С28LPGSP	CP-262	-	-	2690	2695	5	Проробка	2	2,50	24,5	10	70	20	55	-	ОБТ146-110М	1,21	110	5,5	112/136	-	-	Роторний	P2bs	
168	07.04.2007	215.9 С28LPGSP	CP-262	-	-	2695	2741	46	Буріння	137	0,34	24,5	10	70	20	55	-	ОБТ146-110М	1,21	110	5,5	112/136	-	-	Роторний	P2bs	
169	14.04.2007	215.9 С28LPGSP	CP-262	-	проробка	2510	2520	10	Проробка	1	10,00	21,75	3	75	20	55	-	ОБТ146-110М	1,22	130	5,5	140/170	-	-	Роторний	P3ml1	
170	14.04.2007	215.9 С28LPGSP	CP-262	-	-	2741	2750	9	Буріння	69	0,13	8,75	10	75	20	55	-	ОБТ146-110М	1,22	130	5,5	140/170	3	3	4	Роторний	P2bs
171	19.04.2007	215.9 С3-ГВ	1481-205	-	-	2726	2735	9	Проробка	2	4,50	5,5	8	70	20,5	60	-	ОБТ146-145,6М	1,24	110	5,5	96/117	3	3	1	Роторний	P2bs
172	19.04.2007	215.9 С3-ГВ	1481-205	-	-	2750	2752	2	Буріння	9,25	0,22	5,5	8	70	20,5	60	-	ОБТ146-145,6М	1,24	110	5,5	96/117	3	3	1	Роторний	P2bs
173	20.04.2007	215.9 Т3-ГВ	899	-	-	2740	2752	12	Проробка	5,75	2,09	30,5	12	70	20,5	60	-	ОБТ146-145,6М	1,24	110	5,5	94/128	-	-	Роторний	P2bs	
174	20.04.2007	215.9 Т3-ГВ	899	-	-	2752	2776	24	Буріння	79,5	0,30	30,5	12	70	20,5	60	-	ОБТ146-145,6М	1,24	110	5,5	94/128	-	-	Роторний	P2bs	
175	26.04.2007	215.9 С3-ГВ	1100-506	-	-	2776	2810	34	Буріння	114,3	0,30	6,5	15	60	21	60	-	ОБТ146-164,4М + КЛС182-1,1М	1,25	95	5,5	53/112	-	-	Роторний	P2bs, P2vg	
176	01.05.2007	215.9 С3-ГВ	1100-506	-	-	2810	2811	1	Буріння	8,75	0,11	6,5	15	70	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,24	80	5,5	68/117	-	-	Роторний	P2vg	
177	02.05.2007	215.9 С3-ГВ	1100-506	-	-	2706	2811	5	Проробка	15,25	6,89	4,5	14	70	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	80	5,5	68/96	3	3	2	Роторний	P2bs, P2vg
178	02.05.2007	215.9 С3-ГВ	1100-506	-	-	2811	2817	6	Буріння	18,75	0,32	4,5	14	70	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	80	5,5	68/96	3	3	2	Роторний	P2vg
179	04.05.2007	215.9 Т3-ГВ	562	-	-	2812	2817	5	Розширю ванна	0,75	6,67	18	14	60	150	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	100	5,5	75/106	-	-	Роторний	P2vg	
180	04.05.2007	215.9 Т3-ГВ	562	-	-	2817	2826	9	Буріння	29,75	0,30	18	14	60	150	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	100	5,5	75/106	-	-	Роторний	P2vg	
181	07.05.2007	215.9 Т3-ГВ	562	-	-	2826	2852	26	Буріння	52	0,50	15,5	15	70	20	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	95	5,5	86/155	1	К 2	1	Роторний	P2vg
182	11.05.2007	215.9 С3-ГВ	1441-205	-	-	2850	2852	2	Проробка	0,25	8,00	35,25	15	70	20	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	115	5,5	121/170	-	-	Роторний	P2vg	
183	11.05.2007	215.9 С3-ГВ	1441-205	-	-	2852	2856	4	Буріння	13	0,31	35,25	15	70	20	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	115	5,5	121/170	-	-	Роторний	P2vg	
184	12.05.2007	215.9 Т3-ГВ	25	-	-	2856	2862	6	Буріння	6,25	0,96	5,75	15	70	20	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	110	5,5	125/168	-	-	Роторний	P2vg	
185	14.05.2007	215.9 Т3-ГВ	25	-	-	2864	2675	11	Проробка	5,75	1,91	24,75	3	70	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	105	5,5	132/168	-	-	Роторний	P3ml1	
186	14.05.2007	215.9 Т3-ГВ	25	-	рш - 2675-2678М (0,45)	2675	2678	3	Розширю ванна	0,75	4,00	24,75	3	70	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	105	5,5	132/168	-	-	Роторний	P3ml1	
187	16.05.2007	К212,7/80 ТКЗ	6268-0	-	проробка	2710	2717	7	Проробка	0,25	28,00	12,75	3	70	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	105	6	119/162	-	-	Роторний	P2bs	
188	17.05.2007	215.9 Т3-ГВ	25	-	-	2862	2863	1	Буріння	3,75	0,27	11,75	14	70	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	105	5,5	175/196	-	-	Роторний	P2vg	
189	18.05.2007	КС187,3/60 ТКЗ	0040-306	-	-	2863	2867	4	Буріння	6,75	0,59	22,25	8	55	13,5	60	-	Недра 146-8,6М + ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	140	5,5	164/198	3	4	3	Роторний	P2vg
190	20.05.2007	215.9 С3-ГВ	1930-806	-	-	2863	2867	4	Розширю ванна	4,25	0,94	20,5	14	70	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	190	5,5	196/220	1	3	2	Роторний	P2vg
191	20.05.2007	215.9 С3-ГВ	1930-806	-	-	2867	2892	25	Буріння	38,25	0,65	20,5	14	70	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	190	5,5	196/220	1	3	2	Роторний	P2vg
192	22.05.2007	215.9 Т3-ГВ	25	-	-	2892	2924	32	Буріння	30,75	1,04	4,25	15	70	20	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	90	5,5	126/158	2	1	2	Роторний	P2vg
193	25.05.2007	215.9 С3-ГВ (б.в.)	1670-806	-	розшир а	2924	2929	5	Розширю ванна	1,25	4,00	14,5	3	70	20	60	-	Недра 146-8,6М + ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	90	5,5	183/203	-	-	Роторний	P2vg	
194	25.05.2007	295,3 С3-ГВ (б.в.)	0190-506	-	-	2924	2929	5	Буріння	7,75	0,65	26,5	8	50	14	50	-	Недра 146-8,6М + ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	90	5,5	183/203	1	3	2	Роторний	P2vg
195	26.05.2007	215.9 С3-ГВ (б.в.)	1670-806	-	-	2929	2941	12	Буріння	31,25	0,38	14,5	15	70	20	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	80	5,5	175/200	1	3	2	Роторний	P2vg, P2mn
196	28.05.2007	215.9 НЛТ547GL	2897-9	547	-	2941	2960	19	Буріння	31,5	0,60	7,5	15	65	19	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	80	6	139/168	-	-	Роторний	P2mn	
197	30.05.2007	215.9 НЛТ547GL	2897-9	547	-	2960	2970	10	Буріння	21	0,48	5,75	15	60	20,5	60	-	ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	95	5,5	144/166	-	-	Роторний	P2mn	
198	01.06.2007	КС187,3/60 ТКЗ	0020-306	-	-	2970	2974	4	Буріння	6,75	0,59	16,75	8	50	18	60	-	Недра-8,6М + ОБТ146-180,7М + КЛС182-1,1М	1,25	80	6	150/194	3	4	3	Роторний	P2mn
199	05.06.2007	215.9 НЛТ547GL	2897-9	547	розшир а	2970	2974	4	Розширю ванна	3,5	1,14	18,5	3	70	20	60	-	ОБТ146-36,6М + КЛС182-1,1М	1,25	80	5,5	145/163	-	-	Роторний	P2mn	



200	07.06.2007	215.9 HJT547GL	2897 9	547	-	2974	2976	2	Буріння	2,5	0,80	18,5	12	70	20	60	-	ОБТ146-146,7м + КПС182-1,1м	1,25	80	5,5	152/180	-	-	Ротор ний	P2mm	
201	08.06.2007	КС187,3/80 ТК3	0030 306	-	-	2976	2981	5	Буріння	11,75	0,43	23,75	8	50	16	50	-	Недра-8,6м + ОБТ146-180,7м	1,25	80	5,5	138/165	2	3	2	Ротор ний	P2mm
202	10.06.2007	215.9 HJT547GL	2897 9	547	-	2976	2981	5	Розширю вання	4,75	1,05	22,5	12	70	20	60	-	Недра-8,6м + ОБТ146-180,7м	1,25	80	5,5	130/160	-	-	Ротор ний	P2mm	
203	10.06.2007	215.9 HJT547GL	2897 9	547	-	2981	2982	1	Буріння	4,25	0,24	22,5	12	70	20	60	-	Недра-8,6м + ОБТ146-180,7м	1,25	80	5,5	130/160	-	-	Ротор ний	P2mm	
204	10.06.2007	КС187,3/80 ТК3	0060 306	-	-	2982	2987	5	Буріння	7,5	0,67	9,5	8	50	16	50	-	Недра-8,6м + ОБТ146-180,7м	1,25	80	5,5	130/160	2	3	2	Ротор ний	P2mm
205	12.06.2007	215.9 HJT547GL	2897 9	547	розшир ка	2982	2984	2	Розширю вання	4	0,50	20	3	70	20,5	60	-	ОБТ146-146,8м + КПС180-1,1м	1,26	75	5,5	130/158	-	-	Ротор ний	P2mm	
206	13.06.2007	215.9 HJT547GL	2897 9	547	-	2984	2987	3	Розширю вання	9,5	0,32	8,75	12	70	20,5	60	-	ОБТ146-146,8м + КПС180-1,1м	1,25	70	5,5	136/161	3	3	4	Ротор ний	P2mm
207	13.06.2007	215.9 HJT547GL	2897 9	547	-	2987	2991	4	Буріння	19	0,21	8,75	12	70	20,5	60	-	ОБТ146-146,8м + КПС180-1,1м	1,25	70	5,5	136/161	3	3	4	Ротор ний	P2mm
208	16.06.2007	215.9 С3- ГВ	0840 905	-	-	2982	2991	9	Розширю вання	2,5	3,60	29,25	12	70	20,5	60	-	ОБТ146-146,8м + КПС180-1,1м	1,25	60	6,5	98/126	3	3	4	Ротор ний	P2mm
209	16.06.2007	215.9 С3- ГВ	0840 905	-	-	2991	3001	10	Буріння	22	0,45	29,25	12	70	20,5	60	-	ОБТ146-146,8м + КПС180-1,1м	1,25	60	6,5	98/126	3	3	4	Ротор ний	P2mm
210	18.06.2007	215.9 HJT547GL	2297 6	547	-	3001	3018	17	Буріння	35	0,49	6,5	15	70	20,5	60	-	ОБТ146-146,8м + КПС180-1,1м	1,24	55	5,5	104/129	-	-	Ротор ний	P1jm	
211	21.06.2007	К212,7/80 ТК3 (6,в.)	6268 0	-	-	3018	3022	4	Буріння	8,25	0,48	22,5	8	50	16	50	-	ОБТ146-146,8м + КПС180-1,1м	1,25	55	5,5	93/130	2	3	2	Ротор ний	P1jm
212	22.06.2007	215.9 HJT547GL	2297 6	547	-	3018	3022	4	Розширю вання	2,25	1,78	21,5	15	70	20	60	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	60	5,5	128/160	3	3	2	Ротор ний	P1jm
213	22.06.2007	215.9 HJT547GL	2297 6	547	-	3022	3036	14	Буріння	31,25	0,45	21,5	15	70	20	60	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	60	5,5	128/160	3	3	2	Ротор ний	P1jm
214	24.06.2007	215.9 С28LPGSP	263 806	-	-	3036	3056	20	Буріння	27,25	0,73	12	15	70	20	60	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	60	5,5	160/188	-	-	Ротор ний	P1jm	
215	26.06.2007	К187,3/80 С3	1630 7	-	-	3056	3058	2	Буріння	7,5	0,27	13,75	8	50	18	50	-	ОБТ146-144,2м + КПС180-1,1м	1,24	60	5,5	112/168	2	2	2	Ротор ний	P1jm
216	27.06.2007	215.9 С3- ГВ	1910 806	-	-	3056	3058	2	Розширю вання	1,5	1,33	14	14	60	18	60	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	60	6	140/160	1	3	1	Ротор ний	P1jm
217	27.06.2007	215.9 С3- ГВ	1910 806	-	-	3058	3075	17	Буріння	39,25	0,43	14	14	60	18	60	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	60	6	140/160	1	3	1	Ротор ний	P1jm
218	29.06.2007	215.9 С28LPGSP	261 806	-	-	3075	3086	11	Буріння	24,25	0,45	7	12	80	19	60	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	60	6	168/214	-	-	Ротор ний	P1jm, K2st	
219	01.07.2007	215.9 С28LPGSP	261 806	-	-	3086	3100	14	Буріння	38	0,37	7	14	80	20	50	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	70	6	174/216	-	-	Ротор ний	P1jm, K2st	
220	03.07.2007	212,7/80 ТК3	3904 07	-	-	3095	3100	5	Проробка	0,5	10,00	13,25	10	60	14	50	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	70	5,5	181/234	2	3	2	Ротор ний	P1jm, K2st
221	03.07.2007	212,7/80 ТК3	3904 07	-	-	3100	3105	5	Буріння	15,75	0,32	13,25	10	60	14	50	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	70	5,5	181/234	2	3	2	Ротор ний	P1jm, K2st
222	05.07.2007	215.9 С28LPGSP	261 806	-	-	3100	3105	5	Розширю вання	5,5	0,91	12,75	14	80	20	50	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	70	5,5	139/186	-	-	Ротор ний	K2st	
223	05.07.2007	215.9 С28LPGSP	261 806	-	-	3105	3122	17	Буріння	26,25	0,65	12,75	14	80	20	50	-	ОБТ146-181,2м + КПС180-1,1м	1,25	70	5,5	139/186	-	-	Ротор ний	K2st	
224	06.07.2007	215.9 С28LPGSP	261 806	-	-	3122	3145	23	Буріння	35	0,66	22,25	14	80	20	50	-	ОБТ146-180,5м	1,25	65	5	139/178	1	0	3	Ротор ний	K2st
225	10.07.2007	215.9 С28LPGSP	263 806	-	розшир ка	3107	3145	38	Розширю вання	18,5	2,05	14,25	3	70	18	50	-	ОБТ146-180,5м	1,25	65	5,5	122/164	2	0	2	Ротор ний	K2st
226	11.07.2007	К212,7/80 ТК3	53	-	-	3145	3150	5	Буріння	13	0,38	16,5	10	55	14	60	-	Надра-7м + ОБТ146-181м	1,25	85	5,5	141/172	1	0	2	Ротор ний	K2st
227	14.07.2007	215.9 С28LPGSP	261 806	-	проробка	3146	3150	4	Проробка	0,5	8,00	4,25	3	70	18	60	-	ОБТ146-180,5м	1,25	70	6	141/172	-	-	Ротор ний	K2st	
228	19.07.2007	215.9 С3- ГВ	1910 806	-	розбур-ч/ м(крп)	2998	3007	9	Розбурю вання	1,25	7,20	20,5	3	60	18	60	-	ОБТ146-180,6м	1,25	100	5,5	158/179	-	-	Ротор ний	P2mm	
229	05.08.2007	120,6 С3- ГАУ	0250 905	-	розбур-ч/ м(крп)	2150	2157	7	Розбурю вання	8,25	0,85	23,5	2	90	9	Ротор ний	-	-	-	1,24	45	8	90/135	-	-	Ротор ний	N1pl
230	06.08.2007	120,6 С3- ГАУ	0250 905	-	розбур-ч/ м(крп)	2972	2988	16	Розбурю вання	2,5	6,40	23,5	3	100	10	60	-	-	1,23	40	15	6/40	-	-	Ротор ний	P2mm	
231	06.08.2007	120,6 С3- ГАУ	0250 905	-	розбур-ч/ м(крп)	2988	3000	12	Розбурю вання	6,5	1,85	23,5	3	100	10	60	-	-	1,23	40	15	6/40	-	-	Ротор ний	P2mm	

## Додаток Ж

## Програмний код реалізації

```

# Дослідження проводилося на платформі Kaggle.com в середовищі Python 3
# It is defined by the kaggle/python Docker image: https://github.com/kaggle/docker-pyth
on
# Підключення необхідних пакетів

import numpy as np # linear algebra
import pandas as pd # data processing, CSV file I/O (e.g. pd.read_csv)
from pandas.plotting import parallel_coordinates
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn import preprocessing
from sklearn.metrics import pairwise
from scipy.cluster.hierarchy import dendrogram, linkage, fcluster
from sklearn.cluster import KMeans

# Файл даних для дослідження розміщений в папці "../input/"
# Список всіх наявних файлів
import os
for dirname, _, filenames in os.walk('/kaggle/input'):
    for filename in filenames:
        print(os.path.join(dirname, filename))

# Створення об'єкту даних DataFrame із формату comma-separated values (csv)
mykulychinska9 = pd.read_csv("../input/statystic-1/Mykulychinska9.csv", sep=';', decimal
=".", index_col=0)

# fixing typo in data
mykulychinska9.loc[15, 'density'] = 1.23
mykulychinska9.loc[16, 'density'] = 1.23

mykulychinska9['RotationSpeed'] = mykulychinska9['RotationSpeed'].apply(lambda x: 0 if x
== 'Турбінний' or x == 'Роторний' else x)
mykulychinska9['RotationSpeed'] = mykulychinska9['RotationSpeed'].apply(lambda x: 60 if
x == 'Роторний' else x)

# Розділення даних в окремі DataFrame об'єкти по типах операцій
bur = mykulychinska9[mykulychinska9.Operation == 'Буріння']
colls = ['To', 'Length', 'Time', 'Velocity', 'BitLoad', 'StandPressure', 'RotationSpeed'
,
        'density', 'WaterBack', 'BoringType']
# 'RotationSpeed', , 'Pump', , 'BitArmour', 'BitDiametre', 'SPOTime', 'From', 'To'
# 'viscosity',
# 'BitBearing',

bur = bur[colls]
bur_rotor = bur[bur.BoringType == 'Роторний'].drop('BoringType', 1)
bur_turbo = bur[bur.BoringType == 'Турбінний'].drop('BoringType', 1)

colls2 = ['To', 'Velocity', 'BitLoad', 'StandPressure', 'RotationSpeed', 'density', 'Wat
erBack', 'BoringType']
sns.pairplot(bur[colls2], hue="BoringType")

Plot pairwise relationships in a dataset.
colls2 = ['To', 'Velocity', 'BitLoad', 'StandPressure', 'RotationSpeed', 'density', 'Wat
erBack', 'BoringType']
sns.pairplot(bur[colls2], hue="BoringType")

```

```

# Figure-level interface for drawing distribution plots onto a FacetGrid.
sns.displot(bur, x="Length", col="BoringType", aspect=11/8)
sns.displot(bur, x="Time", col="BoringType", aspect=11/8)
sns.displot(bur, x="Velocity", col="BoringType", aspect=11/8)

# Plot rectangular data as a color-encoded matrix.
bur_corr = bur.corr()
fig, ax = plt.subplots()
fig.set_size_inches(15, 8)
sns.heatmap(bur_corr, annot=True, fmt=".1f", cmap="RdBu", center=0, ax=ax)

# Залежність часу технологічної операції (вісь y) та довжини проходу
# (розмір маркера) від глибини (вісь x) та способу буріння (маркер)
plt.figure(figsize=(14,6))
#sns.set_theme(style="whitegrid")
sns.scatterplot(data=bur, x=bur.To, y=bur.Time, hue="BoringType", style="BoringType", si
ze=bur.Length, sizes=(50, 500))
plt.legend(fontsize='x-large', title_fontsize='40')

# Залежність швидкості проходу (вісь y) та часу технологічної операції
# (розмір маркера) від глибини (вісь x) та способу буріння (маркер)
plt.figure(figsize=(14,6))
#sns.set_theme(style="whitegrid")
sns.scatterplot(data=bur, x=bur.To, y=bur.Velocity, hue="BoringType", style="BoringType"
, size=bur.Time, sizes=(50, 500))
plt.legend(fontsize='x-large', title_fontsize='40')

plt.figure(figsize=(18,9))
#sns.set_theme(style="whitegrid")
# sns.color_palette("rocket", as_cmap=True)
sns.scatterplot(data=bur, x=bur.To, y=bur.Time, hue="Length", style="BoringType", size=b
ur.Velocity, sizes=(50, 500), palette='flare')
plt.legend(fontsize='x-large', title_fontsize='40')

# Візуалізація залежності швидкості проходу від деяких інших параметрів моделі
f, axs = plt.subplots(4, 1, figsize=(14, 20))
#x_axis = 'To'
x_axis = 'Velocity'
sns.scatterplot(data=bur, x=x_axis, y="BitLoad", hue="BoringType", ax=axs[0], legend=Fal
se)
sns.scatterplot(data=bur, x=x_axis, y="StandPressure", hue="BoringType", ax=axs[1], lege
nd=False)
# sns.scatterplot(data=bur, x=x_axis, y="Pump", hue="BoringType", ax=axs[2], Legend=Fal
se)
# sns.scatterplot(data=bur, x=x_axis, y="RotationSpeed", hue="BoringType", ax=axs[3], Le
gend=False)
plt.show()

bur.BoringType = bur.BoringType.astype('category')
cat_cols = bur.select_dtypes(['category']).columns
cat_cols

# Перетворення категоризаційних даних, фільтрація відсутніх значень
# та нормалізація даних
bur[cat_cols] = bur[cat_cols].apply(lambda x: x.cat.codes)

bur = bur.dropna(axis=0, how='any', thresh=None, subset=None, inplace=False)

bur_drop = bur.drop('To',1).drop('BoringType', 1)

```

```

# scikit-Learn uses population standard deviation
bur_norm = bur_drop.apply(preprocessing.scale, axis=0)

# pandas uses sample standard deviation
#bur_norm = (bur_drop - bur_drop.mean())/bur_drop.std()

# compute normalized distance based on ...
d_norm = pairwise.pairwise_distances(bur_norm, metric='euclidean')
pd.DataFrame(d_norm, columns=bur_drop.index, index=bur_drop.index)

# Ієрархічна кластеризація
Z = linkage(bur_norm, method='single')

plt.figure(figsize=(25, 7))
#dendrogram(Z, labels=bur_norm.index, color_threshold=2.75, orientation='top', distance_s
ort='descending', show_leaf_counts=True)
dendrogram(Z, labels=bur_norm.index, color_threshold=2.4, orientation='top')
plt.show()

Z = linkage(bur_norm, method='median')
plt.figure(figsize=(25, 7))
#dendrogram(Z, labels=bur_norm.index, color_threshold=2.75, orientation='top', distance_s
ort='descending', show_leaf_counts=True)
dendrogram(Z, labels=bur_norm.index, color_threshold=3.8, orientation='top')
plt.show()

Z = linkage(bur_norm, method='complete')
plt.figure(figsize=(25, 7))
#dendrogram(Z, labels=bur_norm.index, color_threshold=2.75, orientation='top', distance_s
ort='descending', show_leaf_counts=True)
dendrogram(Z, labels=bur_norm.index, color_threshold=7, orientation='top')
plt.show()

memb = fcluster(Z, 6, criterion='maxclust')
#memb
memb = pd.Series(memb, index=bur_norm.index)
for key, item in memb.groupby(memb):
    print(key, ': ', item.index)

plt.figure(figsize=(25, 7))
#dendrogram(Z, labels=bur_norm.index, color_threshold=2.75, orientation='top', distance_s
ort='descending', show_leaf_counts=True)
dendrogram(Z, labels=bur_norm.index, color_threshold=7, orientation='top', truncate_mode
='lastp')
plt.show()

# Візуалізація результатів кластеризації за допомогою heat-мап графіка
sns.clustermap(bur_norm, method='complete', col_cluster=False, cmap='mako_r')

# Ієрархічна кластеризація даних для роторного типу буріння
but_rotor = bur_rotor.dropna(axis=0, how='any', thresh=None, subset=None, inplace=False)

bur_rotor_norm = but_rotor.apply(preprocessing.scale, axis=0)

# pandas uses sample standard deviation
#bur_norm = (bur_drop - bur_drop.mean())/bur_drop.std()

# in linkage() set argument method =
# 'single', 'complete', 'average', 'weighted', 'centroid', 'median', 'ward'
Z = linkage(bur_rotor_norm, method='complete')

plt.figure(figsize=(25, 7))

```

```

dendrogram(Z, labels=bur_rotor_norm.index, color_threshold=7, orientation='top')
plt.show()

# Ієрархічна кластеризація даних для турбінного типу буріння
but_turbo = bur_turbo.dropna(axis=0, how='any', thresh=None, subset=None, inplace=False)

bur_turbo_norm = but_turbo.apply(preprocessing.scale, axis=0)

# pandas uses sample standard deviation
#bur_norm = (bur_drop - bur_drop.mean())/bur_drop.std()

# in linkage() set argument method =
# 'single', 'complete', 'average', 'weighted', 'centroid', 'median', 'ward'
Z = linkage(bur_turbo_norm, method='complete')

plt.figure(figsize=(25, 7))
#dendrogram(Z, labels=bur_norm.index, color_threshold=2.75, orientation='top', distance_s
ort='descending', show_leaf_counts=True)
dendrogram(Z, labels=bur_turbo_norm.index, color_threshold=7, orientation='top')
plt.show()

# Кластерний аналіз за методом K-Means
kmeans = KMeans(n_clusters=4, random_state=0).fit(bur_norm)

# Cluster membership
memb = pd.Series(kmeans.labels_, index=bur_norm.index)

for key, item in memb.groupby(memb):
    print(key, ': ', item.index)
#    print(key, ': ', ', '.join(item.index))

centroids = pd.DataFrame(kmeans.cluster_centers_, columns=bur_norm.columns)
pd.set_option('precision', 3)
centroids

# Візуалізація результатів кластерного аналізу
pred = KMeans(n_clusters=4, random_state=0).fit_predict(bur_norm)
plt.figure(figsize=(10,7))
sns.scatterplot(data=bur, x=bur.To, y=bur.Time, hue=pred, style=pred, palette="tab10", s
=100)

centroids['cluster'] = ['Cluster {}'.format(i) for i in centroids.index]
plt.figure(figsize=(10,6))
parallel_coordinates(centroids, class_column='cluster', colormap='Dark2', linewidth=5)
plt.legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5))

inertia = []
for n_clusters in range(1, 10):
    kmeans = KMeans(n_clusters=n_clusters, random_state=0).fit(bur_norm)
    inertia.append(kmeans.inertia_ / n_clusters)
inertias = pd.DataFrame(data={'n_clusters':range(1, 10), 'inertia':inertia})
ax = inertias.plot(x='n_clusters', y='inertia')
plt.xlabel('Кількість кластерів (k)')
plt.ylabel('Середня відстань між елементами одного кластеру')
plt.ylim((0, 1.1 * inertias.inertia.max()))
ax.legend().set_visible(False)
plt.figure(figsize=(15,9))
plt.show()

```

## Додаток 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ І ПРОЕКТНИЙ ІНСТИТУТ  
ПУБЛІЧНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА "УКРНАФТА"

76019, Івано-Франківськ, вул. Південний бульвар, 2, тел. (034) 277-61-50, (034) 224-32-50  
e-mail: grp@cndi.if.ua, код за ЄДРПОУ 33603711

20 вересня 2021 року № 104 / П-21  
на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

## ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

Видана здобувачці кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Потеряйло Людмилі Олександрівні про те, що результати її дисертаційної роботи на тему «Інтелектуальні моделі оптимізації характеристик буріння на основі баз параметризованих кейсів», виконаної з метою здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» були використані в процесі покращення точності при прогнозуванні описів основних процесів буріння і здійснення параметрично оптимального керування установкою буріння.

До використаних результатів відносяться.

- рекомендації здобувачки використання методу відтворення поведінки історичних даних, за допомогою створення імітаційної моделі дозволяє ефективно визначити відхилення в ході технологічного процесу у фактичному виробництві та оптимізувати характеристики процесу буріння.
- використання запропонованих в роботі моделей у вигляді програмного рішення, дозволяє оптимізувати технологічний процес буріння в розрізі питань безпеки, шляхом забезпечення постійного моніторингу; в аспекті ефективності - забезпечення росту механічної швидкості буріння, підвищення якості формування стовбуру, зниження часу на інтерпретацію даних; крім того забезпечує збільшення часу використання ґрунторуйнуючих інструментів та успішний спуск обсадної колони, виключає виконання повторних операцій, що загалом знижує строки будівництва колони.

Провідний інженер  
НДПІ ПАТ «Укрнафта»  
Людмила Потеряйло  
завідуючо-техніч.  
Григораш В.В.



## Додаток И



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019. тел./факс (03422) 4-21-39, 4-22-64  
e-mail: admin@nung.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070855

12.06 2023р № 23-5  
На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

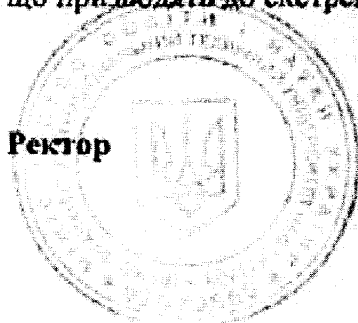
Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу

### ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

Видана здобувачці кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Потеряйло Людмилі Олександрівні про те, що результати її дисертаційної роботи, виконаної з метою здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизації та комп'ютерно-інтегровані технології» використовуються для організації процесів надання освітніх послуг інституту інформаційних технологій та інтегровані у зміст таких дисциплін «Інформаційні системи на основі знань», «Концептуальні основи data science» та науково-дослідному практикумі з розробки і прийняття рішень.

До використаних теоретико-методичних та практичних рекомендацій відносяться:

- запропонований здобувачкою підхід для заповнення пробілів у базі даних та модифікації невідповідних даних є моделювання засобами case-базованих технологій. Використання цієї технології дозволяє створити змодельований часовий ряд із подібними рисами історичного ряду. Значущість підходу планування на основі прецедентів, полягає в тому, що система планування стає адаптивною, підвищення ефективність технологічного процесу досягається за рахунок використання готових рішень;
- модель розширеного підходу CBR, де можуть бути використані методи отримання подібного прецеденту за розширеним методом CBR на основі випадків створених засобами симуляції або на основі першопричин, що дозволяють міркувати і здійснювати процес пошуку прецеденту технологічного процесу буріння нафтогазових свердловин з вищою точністю порівняно із звичайним методом;
- наведена в роботі матриця визначення параметрів для побудови моделі, що мають найбільший вплив на процес буріння, яка демонструє їх взаємозалежностей в результаті чого можна описати оптимальне керування процесу буріння як функцію, що призводять до екстремуму змінної, прийнятої за критерій оптимізації.



Ректор

Ігор ЧУДИК