УДК 550.832:681.5
DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.2/25

Петришин Р. І.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Шекета В. І.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Павлів А. І.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Касянчук І. П.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБРОБКИ КАРОТАЖНИХ ДАНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВЕРДЛОВИН

У статті розглянуто проблему моделювання процесу автоматизації обробки каротажних даних геофізичних досліджень свердловин на основі предметного аналізу інформаційних процесів, пов'язаних з обробкою геофізичних даних, зокрема паперових каротажів, у контексті діяльності ПАТ «УКРНАФТА». Запропоноване аналітичне дослідження спрямоване на ідентифікацію та усунення проблем, що виникають у процесі обробки цих даних, з метою підвищення ефективності та точності аналізу геологічних утворень, а також забезпечення більш точного та оперативного прийняття стратегічних рішень у сфері видобування нафти та газу. Окрім того, запропоноване дослідження ставить перед собою завдання запропонувати можливі рішення на основі методів та засобів автоматизації з метою опрацювання інформації в існуючій системі підтримки прийняття рішень.

Можливість реалізації зазначеної мети дослідження відбувається через інтерпретацію та імплементацію засобів та моделі автоматизації процесу оцифрування інформації з ГДС ПАТ «УКРНАФТА» шляхом обробки даних каротажів, що є перевагою порівняно зі звичайними відомим методами обробки зображень в контексті розвитку новітніх засобів та методів опрацювання каротажних даних геофізичних досліджень свердловин.

В руслі дослідження проблеми здійснено аналіз процесів отримання та первинної обробка даних ГДС, деякі особливості оцифрування комплексів каротажних діаграм з наведеними прикладами, виокремлено засоби автоматизації процесу оцифрування каротажних діаграм та запропоновано процесну модель вилучення інформації із каротажу свердловини.

Для реалізації запропонованої задачі проаналізовано та виокремлено переваги й недоліки використання різних засобів та методів опрацювання геофізичних та каротажних даних, представлено процесну модель вилучення інформації із каротажу свердловини в контексті автоматизації зазначених процесів, що дозволить забезпечити швидку та точну обробку даних, зменшуючи час та ризик помилок. Подальше вдосконалення та впровадження цього рішення допоможе ПАТ «УКРНАФТА» підвищити продуктивність та ефективність своєї діяльності, сприяючи зростанню доходів підприємства. Тому на основі запропонованого дослідження аналізоване рішення дозволить ПАТ «УКРНАФТА» автоматизувати та оптимізувати процес обробки даних каротажів з використанням засобів автоматизації.

Ключові слова: *модель, метод, процес, автоматизація, оптимізація, каротажні дані, геофізичні дані, оцифрування, зображення, фреймворк.*

Постановка проблеми. У сучасному світі, де нафтогазова промисловість переживає постійне зростання вимог до ефективності та точності в процесах пов'язаних з обробкою даних, питання автоматизації процесів в системах підтримки прийняття рішень стає одним з ключових у досягненні високих показників ефективності в процесі видобутку нафти. Прийняття рішень та вибір технологій направлених на більш ефективне освоєння і розробку родовищ нафти чи газу можливе завдяки інформаційному забезпеченню щодо стану, умови залягання та параметри гірських порід.

Дані каротажу є важливою частиною технологій буріння, закінчування, випробування, капі-

тального ремонту свердловин, геологічного картування, моніторингу резервуарів і т. п., особливо в питаннях пов'язаних з прийняттям рішень. Адже від повноти та точності інформації отриманої у процесі каротажу залежатимуть обрана стратегія і методи освоєння вуглеводневих ресурсів. Дані каротажу в базах даних розвідки і видобування можуть допомогти правильно спланувати майбутні операції по каротажу свердловин та забезпечити ефективний моніторинг існуючих резервуарів чи програми повторної розробки.

Відомо, що витрати на каротаж, які можуть становити 4–7 % від вартості завершеної свердловини для отримання даних про формації, флюїди і стан свердловини можуть бути значними і оцифрування аналогових джерел для подальшого опрацювання (інтерпретації, візуалізації результатів і ін.) є важливим з точки зору економії фінансів. Проте суттєвою причиною оцифрування аналогових даних, що записані в журналах чи відсканованої і зберігаються в форматі растрових зображень на різних носіях – це цінність інформації. Очевидно, що цінність інформації отриманої в тому чи іншому вигляді, в той чи інший момент часу буде залежати від мети і способу використання. Так не залежно від мети, причин та обставин збору каротажних даних, існує вірогідність, що їх жодним чином не використовують, чи використовують не повною мірою. Зазвичай так відбувається тоді, коли є підстави вважати їх ненадійними, чи вони підтверджують уже відомі здогадки чи висновки. Навіть помилкові дані не повинні відкидатися просто так, адже їх аналіз може дати цінний результат – виявити системні проблеми із справністю/несправністю каротажного обладнання. Таким чином цінність даних не завжди може бути оцінена у повній мірі в момент збору.

Як результат сьогодні великі об'єми таких цінних каротажних даних в Україні і світі акумульована в архівах в аналоговому вигляді. Нажаль досить часто оцифрування комплексу каротажних діаграм проводиться в ручному, чи напівавтоматичному режимі. Комплекс каротажних діаграм свердловин відсканується, а прив'язка кожної каротажної діаграми по глибині відбувається вручну з використанням типових програмних продуктів для створення векторної графіки, таких як «Corel DRAW». Напівручні (такі, що потребують значної участі оператора) перетворювачі дозволяють з достатньою точністю оцифровувати криві як криві, які не перетинаються, так і криві, що перетинаються, у тому числі осцилограми та криві записані в різних масштабах.

Зважаючи на велику кількість історичних даних, що не були оцифровані, таке ручне чи напівручне оцифрування займе невиправдано багато часу і людських ресурсів, адже швидкість руху візира у залежності від складності геофізичних кривих у такому випадку не перевищує 2 до 14 м/год. Тому в умовах цифрового сьогодення особливо актуальним є впровадження автоматизованих рішень для оцифрування, обробки, передачі та накопичення даних свердловинного каротажу. Тому великі обсяги даних призводить до складнощів у їхній обробці та інтерпретації. Аналіз бізнес-логіки обробки геофізичних даних ГДС ПАТ «УКРНАФТА» відкриває широкий спектр проблем, що ускладнюють ефективність цього процесу та утруднюють прийняття стратегічних рішень. Перші автоматичні рішення перетворювачів аналогових даних в цифровий формат мали ряд недоліків і обмежень, наприклад лінія діаграми повинна була бути простою і не переривчастою з рівномірною товщиною тощо.

Все частіше в нафтогазовій галузі доводиться працювати з великими масивами даних типу «Big Data», особливістю яких є велика кількість класів різнорозмірних даних, що часто є взаємозалежними та випадковими. Тому задача ефективного зберігання і вилучення інформації з цих масивів для певних конкретних цілей є актуальним питанням. Як результат для обробки постійно зростаючих об'ємів інформації нафтогазові компанії використовують відповідні інструменти управління даними, такі як «LogDB» тощо. Саме тому аналіз бізнес-логіки та рівня автоматизації процесу обробки даних ГДС ПАТ «УКРНАФТА» з імплементацією засобів автоматизації процесу оцифрування каротажних діаграм для автоматизації процесу оцифрування даних ГДС ПАТ «УКРНАФТА» є досить актуальним та необхідним в умовах розвитку новітніх засобів та методів опрацювання каротажних даних геофізичних досліджень свердловин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізом питань дослідження в руслі отримання та первинної обробки ГДС, що є передумовою та базовим контентом для бізнес-логіки в контексті автоматизації процесу обробки каротажних даних геофізичних досліджень свердловин, займались такі дослідники, як Junqiang Zhang (Джунцян Чжан), Yi Zhang (І Чжан), Gang Liu (Ганг Лю), Lirui Xu (Ліруй Сюй) та Yong Hu (Юн Ху), які у своєму дослідженні «Швидкий метод вилучення інформації з каротажних зображень свердловин» [5] стверджують, що каротаж свердловин дуже важ-

ливий для геологічного аналізу та застосування. Вилучення структурованої інформації з каротажу свердловин у форматі зображення є ключем до будь-якого аналізу та застосування на основі даних свердловин. Зазначений авторами існуючий метод має недоліки у вирішенні проблеми бороди на каротажі свердловини та ідентифікації спеціальних геологічних символів. Тому у своїй статті автори запропонували метод автоматичного вилучення інформації з каротажу свердловин шляхом поєднання структурного аналізу на основі кутової мітки, а також структурного розуміння на основі глибокого навчання, де детально описано принципи та ключові технології методу. Результати показують, що метод може не тільки ефективно вирішити проблему невідповідності між товщиною та інформацією опису в каротажі свердловини, але також може вирішити проблему низької ефективності розпізнавання професійної лексики, що може підвищити ефективність вилучення та точність інформації каротажу свердловини.

Інші науковці Purohit Pankaj (Пурохіт Панкадж), Nuaimi Fatema Al (Нуаймі Фатема Аль), Kumar Pranav (Кумар Пранав) та Kumar Amit (Кумар Аміт) у науковому дослідженні «Збереження та захист даних каротажу свердловин» [6] також займались аналізом процесів реєстрації різних петрофізичних властивостей гірських порід/пластів, які проникають через бурові інструменти. Зі слів авторів реакції каротажу залежать від літології, пористості, вмісту флюїдів та текстурних змін у пласті. Ця інформація в поєднанні з характеристиками осадових структур, отриманими за допомогою нахиломірів високої роздільної здатності, дає детальне уявлення про осадове середовище і дозволяє оцінити геометрію та орієнтацію покладів.

Дослідник М. С. Сторі (Storey M. C.) у своїй науковій праці «Контроль якості журналі деміфікації [2] досліджує діяльність підрядних компаній, що купують каротажні діаграми, мають системи управління якістю, що забезпечують відповідність та узгодженість з їхніми власними специфікаціями. Таким чином, отримані дані проходять певний контроль якості перед передачею компаніям-операторам, хоча він має загальний характер і зосереджений на отриманих даних, а не на їхньому майбутньому використанні. Запропонований автором кращий спосіб забезпечить якість каротажних даних та їхню готовність до використання в контексті делегованої ним запропонованої структуру для формалізації та спрощення контролю якості каротажних даних у видобувних компаніях та інших організаціях-користувачах даних.

Питаннями вимірювання різноманітних геофізичних параметрів породи займались дослідники, як Річард М. Бейтман (Richard M. Bateman) у праці «Аналіз каротажу обсаджених свердловин та моніторинг продуктивності пласта» (розглядаються життєво важливі питання, такі як оцінка покладів сланцевого газу та його видобуток. Серед тем – умови проведення каротажу в обсаджених свердловинах, властивості пластового флюїду, режими припливу, температура, шум, цементний зв'язок та імпульсний нейтронний каротаж, а також інспекція обсадних колон) [7] та у науковому дослідженні «Аналіз каротажу свердловин та оцінка пластів» (розглядається низка тем, пов'язаних з оцінкою пластів, зокрема, методи збору даних для оцінки пластів, методи аналізу та застосування результатів, каротажні вимірювання у відкритих свердловинах, аналіз каротажних діаграм і керна та випробування пластів) [8].

Питаннями оцифрування комплексів каротажних діаграм займались такі дослідники, як М. К. Насім (M. Q. Nasim) у науковій праці «Digitizer: синтетичний набір даних для аналізу каротажу свердловин» [9], П. Панкай (P. Pankaj) дослідження «Збереження та захист даних каротажу застарілих свердловин» [6], Н. С. Тапліял (H. C. Thapliyal) наукова праця «Управління даними каротажу свердловин (LogDB) – його роль та застосування у видобувному бізнесі» [1].

Аналізом питань оцифрування каротажних кривих з з використанням різних методів займались дослідники Т. Майті (T. Maiti) наукова праця «Оцифрування растрових журналів: додаток для глибокого навчання» [10], М. К. Насім (M. Q. Nasim) у науковому дослідженні «Оцифрування растрових журналів: підхід до глибокого навчання» [11], К. Бюргль (K. Bürgl) наукова праця «Оцифрування каротажних діаграм – виклики машинописних форм» [12], О. А. Гуне (Gune O. A.), А. Р. Локханде (Lokhande A. R.) та П. Р. Мангсулі (Mangsuli P. R.) у спільній науковій праці «Про сегментацію растрових зображень, виявлення екземплярів каротажних діаграм та вилучення інформації про глибину з растрів за допомогою моделей глибинного навчання» [13].

Постановка завдання. Метою статті є предметний аналіз інформаційних процесів, пов'язаних з обробкою геофізичних даних, зокрема паперових каротажів, у контексті діяльності ПАТ «УКРНАФТА». Зазначена аналітична робота спрямована на ідентифікацію та усунення

проблем, що виникають у процесі обробки цих даних, з метою підвищення ефективності та точності аналізу геологічних утворень, а також забезпечення більш точного та оперативного прийняття стратегічних рішень у сфері видобування нафти та газу. Окрім того, наше дослідження ставить перед собою завдання запропонувати автоматизовані засоби з метою опрацювання інформації в існуючій системі підтримки прийняття рішень. Можливість реалізації зазначеної мети дослідження відбувається через інтерпретацію та імплементацію засобів автоматизації процесу оцифрування даних ГДС ПАТ «УКРНАФТА» шляхом обробки даних каротажів, що є перевагою порівняно зі звичайними відомим методами обробки зображень в контексті розвитку новітніх засобів та методів опрацювання каротажних даних геофізичних досліджень свердловин.

Виклад основного матеріалу. Запропоноване у статті дослідження присвячене особливостям імплементації засобів автоматизації процесу обробки каротажних даних геофізичних досліджень свердловин. При бурінні нафтових свердловин за допомогою спеціальних приладів відбувається вимірювання різноманітних геофізичних параметрів породи, таких як: електрична провідність, рівень радіації, температура породи, акустичні властивості та інші [18, 19]. Станом на сьогодні існує багато типів каротажів, кожен з них використовується для визначення конкретної інформації про надра. Різні інструменти, такі як електричні, радіоактивні або акустичні, використовуються для проведення свердловинних вимірювань, коли електричний кабель і лебідка опускаються в свердловину, а сигнал від інструменту передається, приймається та обробляється шляхом відображення графіків на комп'ютері, які геологи та інженери можуть інтерпретувати для визначення глибини і товщини формацій, що потребують вивчення, побудови контурної карти формації і т. д. [7].

Дані геофізичних досліджень у свердловинах (ГДС) є важливим матеріалом для складання геологічного розрізу свердловини і для співставлення між собою розрізів декількох свердловин [19]. В багатьох випадках розрізи свердловин, що побудовані за даними ГДС є єдиним джерелом інформації про послідовність напластувань і властивості гірських порід, що є частиною цих напластувань [7, 20, 8, 21].

Ці дані мають ключовий вплив у процесі підтримки прийняття рішень щодо перфорації свердловини (контрольованого підриву на певній глибині), важливого процесу без якого видобування нафти є неможливим. Окрім цього, комбінування даних отриманих на кількох свердловинах може допомогти в визначення обсягу та площі покладів нафти що відповідно є важливим для визначення місця пробивання нових свердловин та розробки нових родовищ на основі зібраних систематизованих знань щодо родовищ існуючих. Матеріали ГДС можна використати також для стратиграфічної ідентифікації відкладів, оцінки петрофізичних параметрів формацій тощо [8, 21, 19].

Якісна інтерпретація даних промислової геофізики дозволяє [7, 18, 21]: зменшити кількість зразків керну, що відбирається при бурінні, отримати інформацію у свердловинах, де відбір керну не проводився, збільшити швидкість буріння, зменшити вартість буріння. Загальна ціль реєстрації каротажних діаграм полягає в тому, щоб допомогти знайти і вилучити якомога більше вуглеводів економічно найдоцільнішим способом [6, 1]. Каротажні діаграми є основним засобом визначення глибини пласта і запасів нафти, адже містять інформацію як про літологію, властивості гірських порід і флюїдів, що насичують розкриті пласти, а також надають дані, що необхідні для кількісної оцінки вуглеводнів [9, 1]. По суті відклики, що фіксуються на каротажних діаграмах, являють собою функції літології, пористості, вмісту рідин і текстурних змін формації [11, 6, 1].

Ці дані записуються на паперові каротажі які передаються зі свердловини дослідницькому центру ПАТ «УКРНАФТА» для їхнього подальшого аналізу та обробки з використанням сучасних мето-

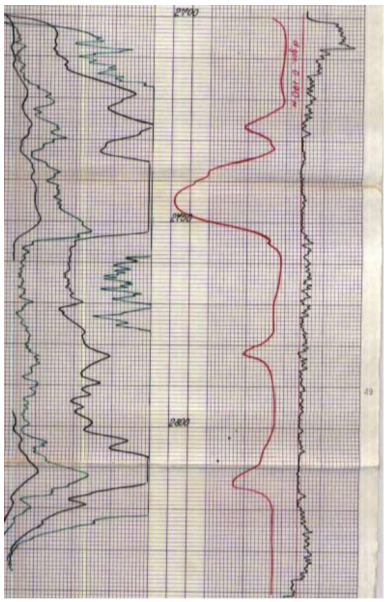

Рис. 1. Приклад паперового каротажу який описує параметри ГДС

дів аналізу даних, що в свою чергу дасть змогу самому підприємству отримати необхідну оброблену інформацію яка ляже в основу нафтовидобувного процесу (приклад паперового каротажу який описує параметри ГДС наведено на рисунку 1).

Рутинний процес обробки даних каротажів в ПАТ «Укрнафта» містить в собі наступні етапи:

1. Сканування каротажу на спеціальному сканері та збереження скан-копії в форматі «JPEG», після чого відбувається завантаження даної скан-копії на загальний сервер підприємства. Поступове оцифрування каротажу спеціалістом з використанням пакета програм «Геопошук», що полягає в фактичному перенесенні кожної точки з каротажу в додаток (рисунок 2).

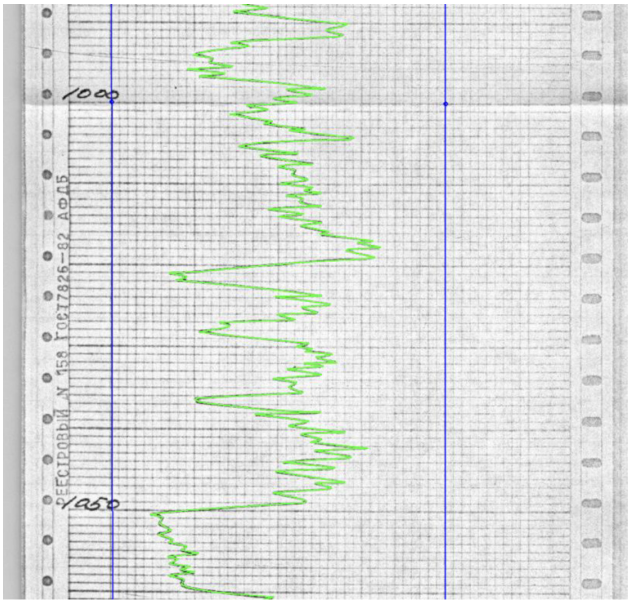

Рис. 2. Приклад цифрового представлення каротажу з використанням пакету програм «Геопошук»

Зелена лінія вказує на перенесений лінійний опис параметру. Експортування оцифрованого графіка в текстовий файл спеціального формату «LAS» для роботи з пакетом подальшого представлення в пакеті програм «Геопошук». «LAS» (Log ASCII Standard) – це стандартний формат файлу, який використовується для збереження та обміну геофізичних даних, зазвичай отриманих в результаті вимірювань у свердловинах.

2. Даний формат широко використовується у геофізичній галузі як один з основних форматів представлення даних в цифровому вигляді, що в свою чергу забезпечує зручність обміну даними між різними програмними засобами та організаціями, що працюють з геологічною та нафтогазовою індустріями.

```
~Version Information
#---------------------------
WRAP.                  NO: O
~Well Information
#---------------------------
#MNEM.UNIT              DA
#---------    ------------
STRT.M
STOP.M
STEP.M
NULL.
COMP.
WELL.
FLD  .
CNTY.
STAT.
DATE.
SRVC.
UWI  .
LOC  .
~Curve Information
#---------------------------
#MNEM.UNIT              A
#---------    ------------
DEPT.M
GK   .
~Other Information
#---------------------------




#---------------------------
#  Depth         GK
~ASCII Log Data
 679.80000      2.23031
 679.90000      2.41179
 680.00000      2.59326
 680.10000      2.77474
 680.20000      2.95621
 680.30000      3.13769
 680.40000      3.13479
 680.50000      3.07591
 680.60000      3.01703
 680.70000      2.95814
 680.80000      2.89926
 680.90000      2.93561
 681.00000      3.02445
 681.10000      3.11329
```

Рис. 3. Приклад представлення каротажу в форматі «LAS»

3. Об'єднання відомостей з усіх каротажів з метою загального аналізу комбінації геофізичних властивостей породи спеціалістами з петрофізики та представлення даних у вигляді цифрового графіка в пакеті програм «Геопошук» (рисунок 4). Даний етап є ключовим саме в процесі підтримки прийняття рішень оскільки на ньому відбувається представлення інформації в зрозумілому для людини візуальному форматі.

Усі ці кроки забезпечують ПАТ «УКРНАФТА» необхідною інформацією для підтримки ефективного нафтовидобутку та стратегічного розвитку компанії в цілому.

Що стосується питань оцифрування комплексів каротажних діаграм, то сучасні каротажні дослідження передбачають реєстрацію, передачу і зберігання даних в цифровому вигляді. Традиційно такі растрові набори даних формувалися та зберігалися у паперовому форматі [9, 12, 13], у вигляді кальок, оптичних плівок [2, 1], термоплівок [6], пізніше у форматах аудіокасет (DAT) і оптичних дисках (EOD) [2].

Проте сформовані протягом десятиліть бібліотеки таких копій даних володіють рядом недоліків [6], таких як громіздкість, непрактичність, неможливість одночасного доступу до даних більше ніж

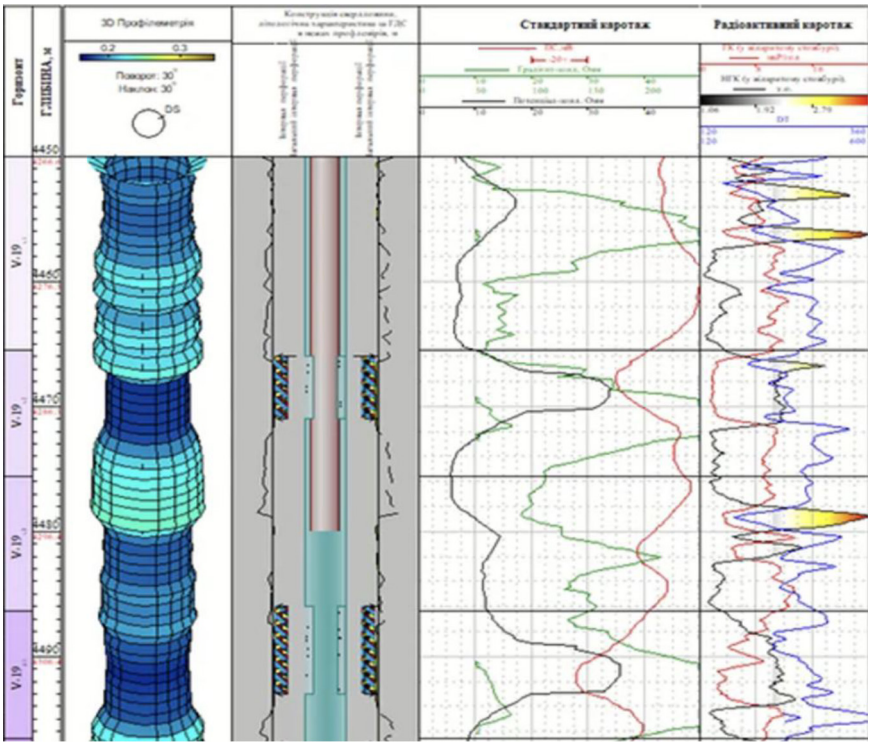

Рис. 4. Приклад представлення каротажу в форматі графіка побудованого пакетом програм «Геопошук»

одного користувача, ризики пошкодження даних при тривалому зберіганні і активному використанні.

З розвитком комп'ютерної техніки, такі набори даних було відсканована і переведено в формати *.pdf, *.jpeg, *.bmp, *.png, *.tiff тощо [13, 1], чи конвертовано у формати векторної графіки [9] для зберігання в цифровому вигляді. До того ж заповнення таких журналів могло проводитися машинописними засобами і від руки (вручну) [12], що відіграє важливу роль при розпізнаванні через необхідність застосування різних підходів, алгоритмів аналізу чи класів моделей оптичного розпізнавання символів (OCR).

Обробка каротажних даних та каротажних діаграм, що збережені в аналоговому форматі сучасними спеціалізованими системами такими як «Schlumberger Techlog», «Paradigm Geolog», «OpenWorks» і «Petrel», «Roxar RMS2 та ін. для подальшої інтерпретації та візуалізації результатів можлива тільки після якісного оцифрування [2]. До того ж для проведення коректної інтерпретації каротажних даних важливою умовою є якість каротажних даних, що підлягають аналізу, що у свою чергу отримані із каротажних кривих. Тому оцифрування каротажних діаграм є одним із способів підвищення повноти, якості та релевантності уже наявних даних. Важливо, щоб автоматизований процес оцифрування каротажних діаграм окрім значної оптимізації затрат часу забезпечував точність і якість отриманого результату, яка перевершує «ручні» способи.

Такий аналіз растрових зображень свердловинних каротажних діаграм дозволяє покращити розуміння характеристик резервуарів, визначення потенційних місць буріння і прийняття обґрунтованих рішень. Для отримання релевантних результатів інтерпретації даних ГДС потрібно, щоб каротажні криві якомога повніше відповідали реальній зміні параметрів гірських порід, що реєструються в процесі каротажу [9].

Для будь-якої компанії, яка займається розвідкою і видобуванням вуглеводнів стратегічно важливо акумулювати такий тип каротажних даних у спеціалізовані бази даних [6]. Також широкого поширення сьогодні набувають системи та платформи для обміну інформації щодо каротажу свердловин [22] отриманої із гетерогенних середовищ (операційних систем) та інтеграції з спеціалізованими програмними продуктами.

Більшість програмних продуктів, що використовуються з такою метою, наприклад «LogDB» [1] можуть зчитувати і оперувати даними каротажу свердловин, що записані у форматах «LIS», «LAS» чи «DLIS» (API RP66) [18, 2]. Тому растрові зображення чи скановані документи PDF потрібно перетворювати в файли «Comma Separated Values (csv)/LASer» (LAS).

Таким чином оцифрування растрових даних є важливим етапом забезпечення одночасного

доступу до обширних, старих, проте цінних даних різних зацікавлених сторін.

Одним із варіантів формалізації процесу оцифрування аналогових даних є побудова математичної моделі (інформаційної), яка міститиме покроковий опис всіх операцій перетворення аналогових даних в цифрові. Оцифрування каротажних кривих може бути виконане з використанням двох підходів [11]: піксельних методів і непіксельних методів. В піксельних методах білі пікселі представлені нулями, а чорні – одиницею [10].

Піксельні методи [11] включають процес проріджування і метод глобальної векторизації кривої (GCV). Метод проріджування зменшує ширину лінії до одного пікселя, залишаючи тільки скелет, що характеризує її особливості [11]. Недоліком цього процесу є втрата інформації про ширину лінії, неправильним відгалуженням при перетині ліній, низькій точності при роботі з точковими лініями і затратності по часі виконання [11].

Методи, що не засновані на пік селях, в основному, розділяють на дві категорії [11]: засновані на контурах і засновані на графах суміжності. Підхід заснований на контурах, полягає у виділенні контуру зображення і наступному пошуку пари контурів. Метод графу суміжності спочатку кодує довжини серій до графів суміжності, а потім аналізує сегменти і генерує різні структури графа суміжності (ліній, блоки).

Типовий растровий файл містить різноманітні каротажні діаграми [5] записані з прив'язкою до глибини чи траєкторії свердловини (треку). При оцифруванні каротажів і перевірці валідності отриманих результатів слід також враховувати, що растри з різних джерел (клієнт/користувач) можуть мати різну структуру [1]. Існують великі відмінності в способах створення растрових зображень. Растрові зображення можуть бути створені із різною роздільною здатністю та з використанням різних систем передачі кольору (RGB, CMYK, Bitmap, Grayscale, LAB, Indexed Color тощо), що прямо впливає на: кількість і глибину кольорів в отриманому зображенні; кількість та інтенсивність виникнення артефактів; можливість якісного оцифрування.

Також слід виокремити і проблеми, що виникають при аналізі зображень каротажних кривих [5, 18, 2]:

– велике різноманіття значень роздільної здатності і якості каротажів та їхнє зображення на різних фонових підкладках, що в свою чергу може виникати через різні умови зйомки каротажів у різних свердловинах, різні часові періоди зйомки каротажів та різноманітні підходи під час цього процесу на кожній свердловині;

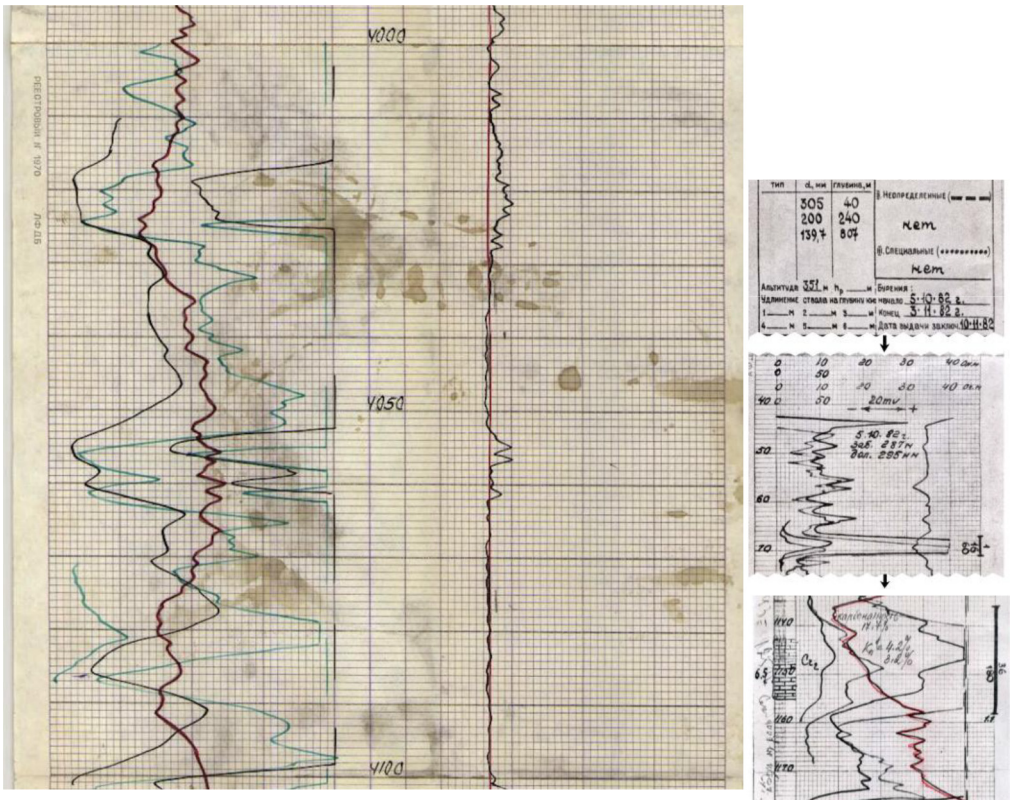

Рис. 5. Приклад каротажів низької якості

– наявність сітки з лініями різної товщини та яскравості утруднює аналіз кривих та вносить значний відсоток шумової складової;

– існує проблема масштабування кривих, оскільки не для кожної точки даних кривої записано відповідну глибину;

– наявність дефектів, затертостей і шумової складової у вигляді областей із розмиттям, зміною різкості чи кольоровим джиттером, які можуть виникати внаслідок технічних проблем під час запису інформації на каротаж або недотримання правил їх зберігання;

– раптові і нетипові перекоси кривих чи треку;

– можлива наявність нерегулярних таблиць, що з'єднані полілініями;

– можливе склеювання каротажів, що виникає внаслідок технічних або людських помилок у процесі обробки або збереження даних та подальших спроб виправлення проблеми;

– різна мнемоніка каротажних діаграм, що залежить від компаній, які проводили каротаж.

Відскановані документи демонструють артефакти сканування і можуть мати погане співвідношення сигнал/шум. Враховуючи всі ці аспекти, оцифрування растрів є нетривіальною задачею. Для вирішення кінцевої мети ефективного автоматичного оцифрування растрів використовують фреймворки на основі глибокого навчання. Слід зазначити, що більшість програмного забезпечення призначеного для оцифрування каротажів потребує постійного ручного втручання у процесі роботи. Таке втручання відбувається як на початку роботи з растровим зображенням, коли в ручному режимі оператором вказуються зони заголовків, маркуються треки чи відбраковуються артефакти сканування.

Отримані растрові зображення містять різноманітні інформаційні області, такі як заголовок журналу, підзаголовки, трек глибини, інформаційні сегменти та графіка, колонтитул, метадані та ін. [9, 13]. Заголовок місить конкретну інформацію про свердловину [5, 9, 12], таку як країна, компанія-оператор, компанія-замовник, назва та місцезнаходження свердловини, виконавець, час проведення робіт, тип журналу, метод каротажу, масштаб і одиниці вимірювання властивостей каротажу, стиль ліній (штрихова, точкова) з допомогою яких записана каротажна діаграма [13] та ін.

Для досягнення кінцевої мети оцифрування растру необхідно точно визначити області графіку/треку з заголовками, каротажними кривими чи робочими записами (коментарями). Автоматичне виокремлення таких областей є першим кроком для вилучення інформації при оцифруванні аналогових каротажних кривих. Підхід сегментації растру дозволяє виокремити ці важливі області [5].

Причому в одному растрі може бути записано декілька каротажних кривих, які слід ідентифікувати і відокремити для подальшого аналізу [1]. Через це одним з важливих етапів оцифрування растру це – ідентифікація окремих екземплярів різних каротажних діаграм, що записані в сегменті графіку. Для цього вихідними даними слу-

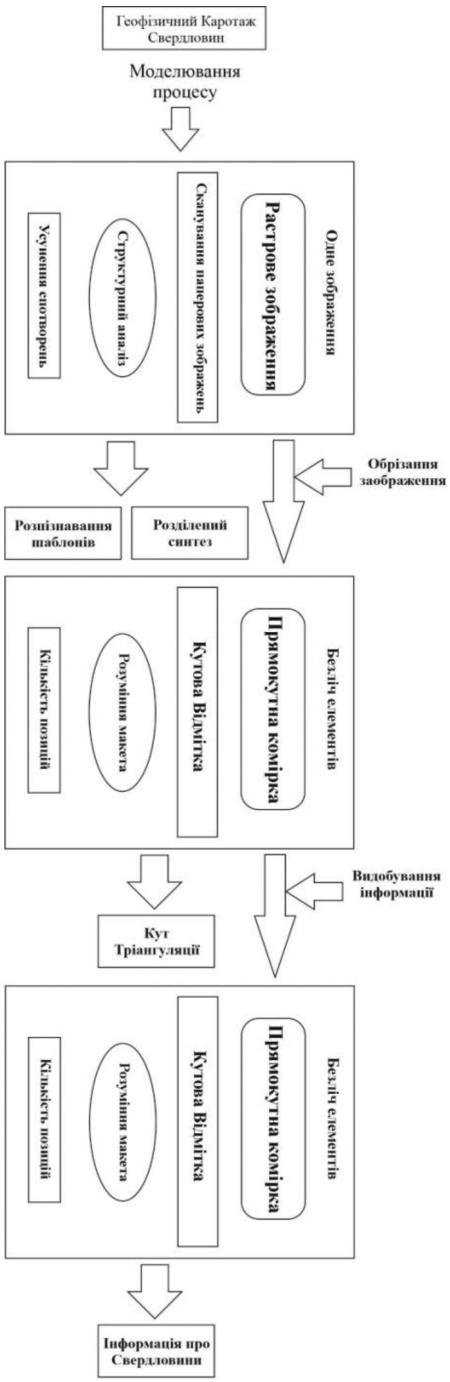

Рис. 6. Процесна модель вилучення інформації із каротажу свердловини

гують попередньо розпізнані області заголовку і підзаголовків що відповідають досліджуваному сегменту графіка (треку) [1].

Для вирішення проблем оцифрування каротажних діаграм широко використовуються [5, 14, 9, 13, 15, 16, 17] методи комп'ютерного зору, нейромережі (ANN,CNN,RNN, fast-RCNN), моделі глибокого машинного навчання (DL), як з використанням генеративно-змагальних нейромереж (c-GAN), так і з застосуванням машин опорних векторів (SVM) та ін. Швидкий технічний розвиток алгоритмів глибокого навчання дозволяє також реалізовувати цифрову побудову відсутніх ділянок каротажних кривих свердловин з достатньо високою точністю в автоматичному режимі [16].

Висновки. Інформація про криві каротажних діаграм, що міститься в базах даних у аналоговому форматі і не включена в цифрові моделі часто може мати вирішальне значення при бурінні та розробці родовищ. Для збільшення повноти бази даних цифрових моделей може бути рекомендований процес оцифрування каротажних кривих, при чому на основі результаті аналізу бізнес-логіки та поточного рівня автоматизації процесу обробки даних ГДС на ПАТ «УКРНАФТА» можна стверджувати про необхідність впровадження автоматизованого підходу до обробки каротажів. В подальших дослідженнях слід звернути увагу на застосування технології генеративного штучного інтелекту та машинного навчання з використанням спеціалізованих фреймворків, що можуть реалізувати та забезпечити швидку й точнішу обробку даних, зменшуючи час та ризик помилок.

Подальше вдосконалення та впровадження цих рішень допоможе ПАТ «УКРНАФТА» підвищити продуктивність та ефективність своєї діяльності, сприяючи зростанню доходів підприємства. Тому на основі запропонованого дослідження аналізоване рішення у вигляді процесної моделі вилучення інформації із каротажу свердловини в руслі змодельованого процесу автоматизації обробки каротажних даних геофізичних досліджень свердловин дозволить ПАТ «УКРНАФТА» автоматизувати та оптимізувати процес обробки даних каротажів з використанням сучасних засобів автоматизації та в подальшому перейти до технологій генеративного штучного інтелекту як інноваційного case-засобу методів та інструментів предметної галузі.

Список літератури:

1. Well log data management (LogDB) – its role and application in E&P busiess / H. C. Thapliyal et al. *6th International conference and exposition on petroleum geophysics "Kolkata 2006"*, Baroda. P. 1234–1238.

2. Storey M. C. Demystifying log quality control. *SPE asia pacific oil & gas conference and exhibition*, Perth, Australia. 2016. URL: https://doi.org/10.2118/182313-ms (date of access: 10.01.2025).

3. T. Well logging and formation evaluation. Gulf Professional Publishing, 2005. 326 p.

4. 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. 2020. URL: https://doi.org/10.2118/202243-ms (date of access: 10.01.2025).

5. A rapid method for information extraction from borehole log images / J. Zhang et al. *Applied sciences*. 2020. Vol. 10, no. 16. P. 5520. URL: https://doi.org/10.3390/app10165520 (date of access: 11.01.2025).

6. Preserving and securing legacy well log data / P. Pankaj et al. *Abu dhabi international petroleum exhibition & conference*, Abu Dhabi, UAE. 2017. URL: https://doi.org/10.2118/188475-ms (date of access: 10.01.2025).

7. Bateman R. M. Cased-Hole log analysis and reservoir performance monitoring. New York, NY : Springer New York, 2015. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2068-6 (date of access: 11.01.2025).

8. Bateman R. M. Openhole log analysis and formation evaluation. Society of Petroleum Engineers, 2012. 653 p.

9. Digitizer: a synthetic dataset for well-log analysis / M. Q. Nasim et al. *Image analysis and processing – ICIAP 2023 workshops*. Cham, 2024. P. 97–105. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-51023-6_9 (date of access: 10.01.2025).

10. Digitization of raster logs: a deep learning application / T. Maiti et al. *GeoConvetion*, Calgary, 20 June 2022.

11. Digitization of raster logs: a deep learning approach / M. Q. Nasim et al. *ArXiv*. 2022. Abs/2210.05597. P. 1–18. URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.05597

12. Digitizing drilling logs – challenges of typewritten forms / K. Bürgl et al. INFORMATIK 2021, 2021. URL: https://doi.org/10.18420/informatik2021-059

13. Gune O. A., Lokhande A. R., Mangsuli P. R. On raster image segmentation, well log instance detection, and depth information extraction from rasters using deep learning models. *Adipec*, Abu Dhabi, UAE, 2–5 October 2023. 2023. URL: https://doi.org/10.2118/216206-ms (date of access: 11.01.2025).

14. Bartosik S., Amirlatifi A. Machine learning assisted geosteering. *54th US rock mechanics/geomechanics symposium*, Golden, Colorado, 28 June 2020. 2020. P. 1–7. URL: https://onepetro.org/ARMAUSRMS/proceedings-abstract/ARMA20/ARMA20/ARMA-2020-1662/447628

15. Igulu K. T., Piah Z. P., Singh T. P. IT technologies impacting the petroleum sector. *Understanding data analytics and predictive modelling in the oil and gas industry*. Boca Raton, 2023. P. 21–42. URL: https://doi.org/10.1201/9781003357872-2 (date of access: 11.01.2025).

16. Li J., Gao G. Digital construction of geophysical well logging curves using the LSTM deep-learning network. *Frontiers in earth science*. 2023. Vol. 10. URL: https://doi.org/10.3389/feart.2022.1041807 (date of access: 11.01.2025).

17. Rahmati M., Zargar G., Ayati Zadeh Tanha A. Predicting density log from well log using machine learning techniques and heuristic optimization algorithm: a comparative study. *Petroleum research*. 2024. URL: https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2024.01.008 (date of access: 11.01.2025).

18. Old and modern well log data and its reliability through A novel certification process. / R. Camacho et al. *International oil conference and exhibition in mexico*, Cancun, Mexico. 2006. URL: https://doi.org/10.2118/103902-ms (date of access: 10.01.2025).

19. Petrophysical analysis of well logs data for identification and characterization of the main reservoir of Al Baraka Oil Field, Komombo Basin, Upper Egypt / A. H. Senosy et al. *SN applied sciences*. 2020. Vol. 2, no. 7. URL: https://doi.org/10.1007/s42452-020-3100-x (date of access: 11.01.2025).

20. Bateman R. M. Formation evaluation with pre-digital well logs. Elsevier, 2011. 271 p.

21. Liu H. Principles and applications of well logging. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2017. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-54977-3 (date of access: 11.01.2025).

22. Li C., Cheng D., Zhang C. A platform to integrate well-log information applications on heterogeneous environments. *Proceedings of the 2nd international conference on information technology for application (ICITA 2004)*. P. 265–270.

23. LogDigi, LLC. LogDigi – digitizing service. URL: https://www.logdigi.com/Digitizing%20Service.htm

24. Wellcad-Borehole data display and interpretation solutions. *https://wellcad.com/*. URL: https://wellcad.com/

25. Well log digitizing software-Neuralog. https://www.neuralog.com/well-log-digitizing-software-neuralog/

26. VeerNet: using deep neural networks for curve classification and digitization of raster well-log images / M. Q. Nasim et al. *Journal of imaging*. 2023. Vol. 9, no. 7. P. 136. URL: https://doi.org/10.3390/jimaging9070136 (date of access: 11.01.2025).

Petryshyn R. I., Sheketa V. I., Pavliv A. I., Kasianchuk I. P. MODELING OF THE AUTOMATED PROCESSING OF LOGGING DATA FOR GEOPHYSICAL SURVEYS OF WELLS

The article considers the problem of automatization process modeling for well logging data processing of geophysical surveys based on a substantive analysis of information processes related to the geophysical data processing, in particular, paper logs, in the context of PJSC «Ukrnafta». The proposed analytical study is targeted at identifying and eliminating problems occurring in the process of analyzing these data in order to increase the efficiency and accuracy of geological formations analysis, as well as to ensure more precise and prompt strategic decision-making in the area of oil and gas production. In addition, the proposed research attempts to propose possible solutions based on automatization methods and tools to process information in the existing decision support system.

The possibility of realizing this research goal is achieved through the interpretation and implementation of tools and models for automating the process of digitizing information from the GSW (geophysical surveys of wells) of PJSC "Ukrnafta" by processing well logs, which is an advantage over conventional known image processing methods in the context of the development of the latest tools and methods for processing well logs of geophysical surveys.

In the context of the research of the problem, the author analyzes the processes of obtaining and primary processing of logging data, some features of digitizing complexes of logging diagrams with examples, identifies means of automating the process of digitizing logging diagrams, and proposes a process model for extracting information from well logs.

For the implementation of the proposed task, the advantages and disadvantages of using various tools and methods for processing geophysical and well-logging data are analyzed and highlighted, and a process model for extracting information from well logs in the context of automating these processes is presented, which will ensure fast and accurate data processing, reducing time and the risk of errors. Further improvement and implementation of this solution will help PJSC «Ukrnafta» to increase the productivity and efficiency of its operations, contributing to the growth of the company's revenues. Therefore, based on the proposed study, the analyzed solution will allow PJSC «Ukrnafta» to modernize and optimize the process of logging data processing using automated tools.

Key words: *model, method, process, automation, optimization, logging data, geophysical data, digitization, image, framework.*