

**О. І. ПЕЛИПЕНКО, В. М. САВИК, С. І. БУХКАЛО, О. О. АГЕЙЧЕВА**

## **МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ІНТЕГРОВАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ У ПРИКЛАДАХ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СВЕРДЛОВИН**

У матеріалах статті розглянуті приклади можливостей для визначення цілей інтегрованого дослідження закольматованих бурових установок. Проаналізовано причини зниження проникності, що відбувається в процесі спорудження свердловини та експлуатації. Визначено причини зниження проникності призабійної зони пласта порід-колекторів, що відбуваються у процесі буріння, цементування, вторинного розкриття та освоєння свердловин. Досліджено основні принципи розробки, аналізу та проведення процесів відновлення з застосуванням сучасних високоефективних науково-обґрунтованих технологій, наприклад, синергетичних процесів із важковидобувними запасами нафти як критерій оцінювання ефективності інтегрованого дослідження. Інтегровані дослідження визначені як від різновидів аналізу класифікації-ідентифікації, загальних понять та вимог до різновидів методології визначення показників рівня якості та їх оцінки через вибір алгоритмів аналізу та розрахунків на різних стадіях виробництва. Проведено аналіз математичних моделей підвищення якості інтегрованого дослідження бурової установки за рахунок використання нових робочих агентів й удосконалення технології.

**Ключові слова:** математичні моделі, синергетичні процеси, продуктивність свердловини, привибійна зона пласта, хімічні методи, забруднення.

### **Вступ.**

За даними Державної служби статистики, найбільш помітне зниження було у 2016 році – на 11,1% щодо попереднього року та у 2015 році – на 10%. У 2013 році видобуток нафти в Україні становив 2,2 млн т, наступні роки обсяги рахували без даних з тимчасово окупованих Криму та територій Донецької, Луганської областей. За результатами 2014 року обсяги видобутку скоротилися на 2 млн т (-9,1%). У 2017 році вже видобували 1,5 млн т нафти. У 2019 році видобуток зріс на +6,2% – до 1,7 млн т. У 2020 році показник був аналогічний. Протягом січня-серпня 2021 року в Україні видобули 1,1 млн т нафти. Найбільші обсяги у 2021 році були у травні (142,3 т) та серпні – 141,7 т, що на 1,2% більше, ніж у серпні минулого року.

Наприкінці 2020 року обсяги запасів сирової нафти в Україні нараховували 85 млн т. З них половина припадає на Східний регіон (Дніпропетровська, Полтавська, Харківська, Чернігівська, Сумська, Донецька, Луганська обл.). Ще третина зосереджена у Західному – на території Львівської, Івано-Франківської, Закарпатської, Волинської, Чернівецької областей. 13% нафти знаходиться у Південному регіоні (Запорізька, Одеська області, шельф Азовського, Чорного моря, тимчасово окупований Крим).

Наразі в Україні існує понад 200 родовищ, однак майже всі вони невеликі. З них у нафто-газовій промисловості розробляється 82%. Поки що ця сфера не має суттєвого росту. Наприклад, протягом чотирьох років (2018–2021 рр.) загальний видобуток нафти в Україні майже не мінявся і становив 1,6–1,7 млн т. У період війни загострюються проблеми сьогодення – ресурсні війни та демографічні зміни, екологічні виклики та впливи на навколишнє середовище, що, у свою чергу, підсилює можливість загроз сировинної турбулентності на ринку та ускладнює характер її прояву.

Як відомо [1–3] з різновидів джерел інформації, максимальний видобуток нафти і газу за родовищами України припав на середину 70-х років, наприклад, у 1973 році – 13,2 млн т, причому частка лише двох родовищ, розташованих у Прилуцькому нафтогазовому регіоні, Гнідинцівського та Лесяківського, становила близько 8 млн т нафти. Максимальний видобуток природного газу в 1975 році склав 68,7 млрд м<sup>3</sup>. У 2016 році видобуток нафти скоротився до 1,8 млн т, а газу до 19,9 млрд м<sup>3</sup>, що обумовлено, перш за все, значною виснаженістю найбільших родовищ і не залученням до розробки менших запасів покладів. В той же час, аналіз наукової літератури свідчить, що в теорії інтегрованого дослідження управління раціонального видобутку нафти і газу залишаються невирішеними питання врахування факторів ринкової турбулентності під час прийняття управлінських рішень, недостатньо досліджені технологічні аспекти взаємозв'язків чинників обладнання та вартісними показниками видобутку, що обумовлює актуальність дослідження, його мету, завдання та зміст.

Основні науково-практичні напрямки вирішення означених проблем можна ідентифікувати як:

1) введення у розробку нових нафтогазових родовищ за рахунок збільшення обсягів геолого-розвідувального та експлуатаційного буріння;

2) збільшення коефіцієнта вилучення нафти і газу із покладів вуглеводнів за рахунок ефективного використання сучасних технологій та обладнання на вже розвіданих та діючих родовищах.

Це стосується як будівництва нових свердловин, так і до законсервованих та недіючих з різних причин нафтогазових закольматованих свердловин, яких в Україні значна кількість (до 5–7 тис.) за даними різних дослідників. Необхідно відзначити важливу перевагу в тому, що закольматовані родовища вже

© Пелипенко О.І., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О., 2024

облаштовані логістичними системами, наприклад, мають діючу інфраструктуру для видобутку, підготовки та транспортування нафти, газу та конденсату до кінцевого споживача, та запасів вуглеводнів, що дозволяє за значно менших витрат і за рахунок використання сучасних технологій підвищити ступінь вилучення вуглеводневої сировини з важкодоступних і виснажених родовищ України [4]:

1) у структурі запасів вуглеводнів постійно збільшується частка важковидобувних запасів, освоєння яких у сучасних економічних умовах пандемії та війни пов'язане зі значними різновидами ризиків для життя та інвестицій;

2) розробка родовищ із важковидобувними запасами нафти здійснюється у умовно безпечних регіонах України низькими темпами і, як свідчить досвід, кінцева нафтовіддача продуктивних пластів цих родовищ не перевищує 30 % від початкових балансових їх запасів.

#### **Постановка науково-практичного дослідження.**

##### **1. Аналіз можливостей інтегрованих складових дослідження за ієрархією класифікації-ідентифікації різновидів джерел інформації.**

Проблемі дослідження геології, геохімії, гідрогеології та ресурсного забезпечення нафтогазовидобувної галузі України присвятили свої роботи науковці В. Сельський, В. Порфїрьєв, С. Суботін, М. Ладижинський, Ю. Арсірій, Г. Доленко, В. Гавриш, В. Забігайло, О. Лукін, М. Євдошук, М. Павлюк, І. Наумко, І. Чебаненко, П. Шпак, Б. Маєвський, О. Істомін, Е. Чекалюк, М. Багрій, В. Суярко, О. Барташук та ін.

Геологорозвідувальні роботи з пошуків родовищ нафти і газу та видобуток вуглеводневої сировини в Україні здійснюється у трьох регіонах: Східному (Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ) і Донбас), Західному (Волино-Подільська плита, Передкарпаття, Карпати та Закарпаття) і Південному (Переддобруддя, Причорномор'я, Крим та відповідні сектори акваторій Чорного і Азовського морів [4].

Класифікація-ідентифікація за основними параметрами літературних джерел інформації характеристик нафтового родовища : геологічна будова площі родовища; розміщення локальної структури стосовно структур вищого порядку, наявність різних структурних планів, характеристика продуктивних горизонтів і флюїдоупорів, типи та кількість пасток і покладів, фазовий стан вуглеводнів у покладах, запаси, їх густина за площею та ін.

Нафтове родовище може об'єднувати кілька структурних поверхів, що значно ускладнює його розвідку і розробку та вимагає вивчення збігів у плані контурів покладів між собою і з контурами структур. Промислова цінність родовища – комплекс гірничо-геологічних, економіко-географічних і соціально-економічних параметрів нафтового (газового) родовища, який визначає господарську ефективність процесів видобування нафти (газу).

##### **2. Приклади інтегрованого дослідження.**

Одним із шляхів інтегрованого дослідження з підвищення ефективності буріння свердловин пізніх стадій експлуатації є вдосконалення контролю за процесом буріння, зокрема, за енергетичними показниками роботи приводу ротора бурових установок. Наявність точної інформації про енергетичні показники приводу ротора бурової установки створить умови для підвищення ефективності буріння, особливо при бурінні свердловин у складних геологічних умовах. Основним технічним завданням, на вирішення якого спрямована модернізація пневматичних клинових захватів, є створення такої конструкції, яка виключила б передачу великих крутних моментів через вкладиші, дозволила б передавати крутний момент при відхиленні від співвісності ведучої труби і прохідного отвору ротора, забезпечувала б силове центрування затискача з ведучою трубою клинами при неспіввісності клина і поглиблення під клин в затисках ведучої труби, забезпечувала б зниження контактного тиску між затискачем і ведучою трубою і очищення зовнішньої поверхні ведучої труби при виході із свердловини.

##### **3. Класифікація-ідентифікація та аналіз синергетичних процесів із важковидобувними запасами нафти як критерій оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.**

Інтегровані дослідження визначені як удосконалення обладнання бурової установки з метою представлення можливостей суттєвого синергетичного збільшення ефективності буріння свердловин, а також це дослідження геомеханіки, геофізики, проектування та конструкції свердловин, бурових інструментів та обладнання, бурових рідин та цементування, георесурсів та їх оцінка, видобуток та транспортування георесурсів, стабілізація видобутку вуглеводнів, екологічні та економічні аспекти буріння та георесурсів, новітні досягнення та перспективи розвитку буріння та георесурсів та інші характеристики (табл. 1). Проблема кольматації колекторів досить поширена – для її вирішення провідні фахівці України та світу розробляють нові методи й технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів. Аналіз значної кількості джерел дозволив визначити основні принципи відновлення продуктивності свердловин закольматованих у процесі їх буріння та експлуатації методом кислотних обробок [1–6].

Наприклад, на території Дніпровсько-Донецької западини близько двадцяти свердловин на високоперспективних розвіданих родовищах не дають продукцію в результаті кольматації продуктивних пластів при бурінні. У той час, коли геофізичні дослідження у свердловині показують, що фільтраційно-ємнісні характеристики колектора високо ефективні, горизонти є продуктивними в сусідніх свердловинах, але в результаті репресії на пласт виникає значне проникнення твердої фази у пласт, утворення емульсій та, наприклад,

полімеризація реагентів, що призводить до цільової продукції за прикладами інтегрованого засмічення привибійної зони пласта і свердловина дослідження (табл. 2). виявляється мало дебітною або взагалі не дає

Таблиця 1 – Вибір загальних характеристик наукового обґрунтування основних складових видобутку на пізній стадії експлуатації за різновидами прикладів родовищ

1	Ієрархія визначення моделей стабілізації видобутку вуглеводнів за факторами впливу з метою підвищення продуктивності та віддачі пластів.
2	Визначення та аналіз моделей технологічного, економічного та екологічного аспектів технології за різновидами стадій експлуатації та впливу на навколишнє середовище.
3	Обґрунтування можливостей вибору типів пристроїв, бурових інструментів та обладнання для заданої свердловини за синергетичними параметрами..
4	Класифікація-ідентифікація розрахунків ієрархії параметрів бурових рідин для заданої свердловини об'єкту виробництва відповідно до НТД.
5	Класифікація-ідентифікація та аналіз параметри бурових рідин та цементування для заданої свердловини об'єкту виробництва відповідно до НТД..
6	Стимулювання родовищ за допомогою гідравлічного розривання, кислотного оброблення, термічного впливу та комп'ютерних моделювань як варіанти синергетичних процесів.
7	Ієрархія процесів буріння в складних геологічних умовах за допомогою систем керованого та вертикального буріння, з використанням комп'ютерних методів контролювання..
8	Ідентифікація процесів буріння в складних геологічних умовах за допомогою систем з використанням альтернативних джерел енергії та методів математичного моделювання.
9	Класифікація-ідентифікація та аналіз параметри буріння в різновидах неконвенційних джерелах за допомогою горизонтального буріння, буріння з використанням штучного інтелекту,
10	Класифікація-ідентифікація та аналіз параметри буріння в неконвенційних джерелах за допомогою буріння з використанням інноваційних нанотехнологій,
11	Класифікація-ідентифікація та аналіз ієрархії параметри стимулювання родовищ за допомогою біотехнологій та комп'ютерних моделей програмування. □

Таблиця 2 – Ієрархія загальних експериментальних характеристик основних складових буріння за прикладами інтегрованого дослідження

№	Класифікація-ідентифікація стадій дослідження за темою
1	Аналіз можливостей інтегрованих складових дослідження за ієрархією класифікації-ідентифікації різновидів джерел інформації.
2	Класифікація-ідентифікація та аналіз синергетичних процесів із важковидобувними запасами нафти як критерій оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.
3	Експериментально-практичні засади вибору технології та визначення складових її класифікації-ідентифікації інтегрованої конструкції за прикладом модернізації пневматичних клинів ротора.
4	Експериментально-практичні засади вибору технологічного обладнання: розрахунок та вибір складових інтегрованої конструкції технічної пропозиції для модернізованих пневматичних клинів ротора.
5	Опис ієрархії технічної пропозиції та модернізованої конструкції пневматичних клинів ротора за параметрами розрахунків математичної моделі.
6	Контроль енергетичних показників приводу ротора бурових установок удосконалення математичної моделі роботи бурового ротора як сутність інтегрованої дослідно-конструкторської роботи з удосконалення обладнання бурових установок
7	Приклади інтегрованої безпечної діяльності установки за розрахунками працездатності та вибору складових монтажу і експлуатації інноваційного обладнання – конструктивних елементів пневматичних клинів ротора.
8	Дослідження сучасних успішних практик з монтажу і експлуатації обладнання – організаційно-технічні заходи; експлуатація та ремонт обладнання як комплексної інтегрованої безпечної діяльності.
9	Визначення та вибір удосконаленої інтегрованої структурної моделі системи контролю енергетичних показників приводу ротора бурових установок
10	Математична модель з аналізу визначення моменту двигуна приводу стола ротора бурової установки, яка була б придатною для автоматичного контролю моменту на валу двигуна в реальному часі.
11	Приклади розрахунків конструктивних елементів пневматичних клинів ротора; монтаж і експлуатація обладнання як критерії оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.
12	Приклади організаційно-технічних заходів з монтажу та експлуатації обладнання. як критерії оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.
13	Класифікація-ідентифікація та аналіз синергетичних процесів з експлуатації та ремонту обладнання як критерії оцінювання ефективності інтегрованого дослідження.
14	Висновки і перспективи розвитку за інтегрованою безпечною діяльністю роботи удосконаленого обладнання бурових установок..

Одним із шляхів підвищення ефективності буріння свердловин є розробка різновидів математичних моделей синергетичних систем та вдосконалення контролю за процесом буріння, зокрема, за енергетичними показниками роботи приводу ротора бурових установок, що створює відповідні умови, особливо при бурінні свердловин у різновидах складних умов (табл. 2) [5–10].

Дослідження операцій, з іншого боку, використовують математичні моделі, їх аналіз та алгоритмічні методи для аналізу з оптимізації складних систем. Це дозволяє організаціям та підприємствам підвищити ефективність, зменшити витрати та покращити якість послуг або продукції. Завдяки постійному розвитку комп'ютерних технологій та алгоритмів, методи оптимізації та дослідження операцій продовжують вдосконалюватися, відкриваючи нові можливості для ефективного управління і прийняття рішень.

Об'єкт розробки – алгоритм, блок-схема з метою підвищення нафтовіддачі та інтенсифікації видобутку вуглеводнів на родовищах, що знаходяться на пізній стадії розробки, а також тих, що відносяться до категорій важко здобутих за рахунок розробки інтегрованих математичних моделей є на сьогодні більш реальною у найближчій перспективі, порівняно з пошуками та освоєнням нових площ та нафтогазових родовищ. Інтегровані приклади і задачі на цьому рівні пов'язані з можливістю функціонування підприємства у системі генерації кінцевої продукції. Для цього може бути застосований декомпозиційний підхід, тобто розподіл проблеми на рівні, що дозволяє врахувати непов'язані, безпосередньо між собою фактори, в комплексі, за рахунок послідовного вирішення окремих проблем – оптимізація кожного параметру дозволяє дослідити процес виготовлення цільової продукції в цілому.

На технологічному рівні вирішуються питання пов'язані з організацією технологічних зв'язків в рамках підприємства, що дозволяє знизити собівартість, ліквідувати проблемні задачі процесів та обладнання., що в кінцевому випадку є основою відтворення внутрішніх резервів.

**Експериментально-практичні засади вибору технології та визначення складових її класифікації-ідентифікації інтегрованої конструкції за прикладами модернізації різновидів пристроїв та обладнання.**

Приклади проведення удосконалення обладнання для утримання колони бурильних труб за методами контролю інтегрованих енергетичних показників бурового ротора і пневматичних клинів для буріння свердловин на нафту і газ представлені з метою виявлення можливостей інтенсифікації синергетичних процесів відновлення бурильних установок. Питання автоматизації процесів керування бурінням нафтових і газових свердловин приводять до необхідності вивчення цих складних характеристик технологічного процесу буріння, який

здійснюється за умов невизначеності під впливом стохастично-хаотичних збурень. Тому й моделям процесу буріння притаманна невизначеність, зумовлена, з одного боку, відсутністю точного опису процесів функціонування систем, а з іншого боку – неспроможністю оцінити стан систем абсолютно точно, що ускладнює й унеможливує використання точних кількісних методів. Дійсно, скористатися математичними моделями, які розкривають основні закономірності впливу різних технологічних факторів на механічну швидкість буріння, не представляється можливим без проведення експериментального буріння з метою визначення конкретних цифрових значень коефіцієнтів моделі [8]. Це викликано тим, що результати промислового буріння, які відображають сукупний вплив різних технологічних факторів на проходку одного долота і механічну швидкість, не дозволяють побудувати графіки залежностей механічної швидкості буріння від осьової сили на долото і частоти його обертання та визначити параметри моделі, які потрібні для корегування і оптимізації режимів буріння. Тому, аналіз взаємозв'язків параметрів математичної моделі процесу буріння свердловин є важливим науковим та практичним завданням, яке дозволить синтезувати кібернетичну математичну модель. Синтез адекватних математичних моделей процесу буріння свердловин є актуальною задачею у зв'язку з інтенсивним впровадженням у галузі цифрових керуючих обчислювальних комплексів [10–17] і нового типу доліт, які мають проходку декілька тисяч метрів на одне долото.

Проте, аналіз літературних джерел [10, 18, 19, 26], в яких започатковано розв'язання деяких проблеми, показує недостатній об'єм проведених досліджень у напрямку розробки методів ідентифікації параметрів математичної моделі процесу буріння нафтових і газових свердловин. Невирішеною частиною загальної проблеми ідентифікації параметрів математичної моделі процесу буріння є встановлення взаємозв'язків параметрів математичної моделі технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин для ефективного і швидкого визначення збурень, що впливають на об'єкт керування [7].

У зв'язку з вище наведеним, проаналізовано взаємозв'язки параметрів математичної моделі технологічного процесу буріння свердловин для ефективного і швидкого розв'язання задачі ідентифікації стохастично-хаотичних збурень, що впливають на об'єкт керування в процесі роботи долота на вибої свердловини.

Удосконалення механічних характеристик асинхронних двигунів приводу стола ротора бурових установок є актуальною задачею у зв'язку з необхідністю створення сучасних засобів автоматичного контролю енергетичних показників процесу буріння нафтових і газових свердловин. Тому необхідно розробити таку інформаційну математичну модель моменту двигуна приводу стола

ротора бурової установки, яка була б придатною для вирішення задач автоматичного контролю моменту на валу двигуна в реальному часі.

Для вирішення цієї задачі використовуються методи порівняння, математичного і комп'ютерного моделювання, теорії автоматизованого електроприводу. Порівняння різних формул апроксимації залежності  $M = f(s)$  проведено для приводу стола ротора Р-560 з електродвигуном АКБ-114-6 бурової установки НБО-4Е, яка вибрана згідно найбільшого навантаження [7].

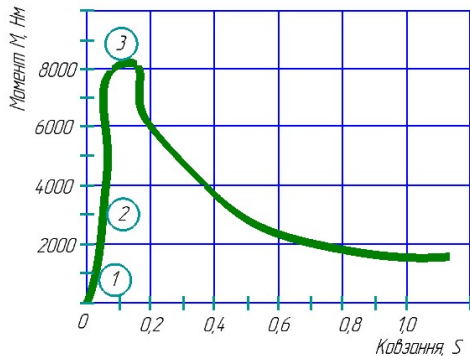


Рис. 1 – Механічна характеристика  $M = f(s)$  для двигуна АКБ-114-6

Механічна характеристика була побудована за такими паспортними даними двигуна АКБ-114-6:  $P_{ном} = 320$  кВт;  $U_{ном} = 500$  В;  $n_{ном} = 980$  хв<sup>-1</sup>;  $I_{ном} = 455$  А;  $p = 3$ ;  $\cos \phi = 0,88$ ; ККД = 92,5%. Нелінійну частину механічної характеристики розраховано згідно спрощеного рівняння механічної характеристики. На рис. 1 побудована механічна характеристика для двигуна АКБ-114-6 [8].

Для побудови сумісної механічної характеристики приводу стола ротора, розглянемо привід з асинхронним короткозамкненим ротором. Дослідження статичних властивостей електроприводу проводиться на основі побудованої механічної характеристики двигуна стола ротора АКБ-114-6 (1) потужністю 320 кВт, шарошкового долота Ш 295,3 СЗ-ГВ Д73 (2) і сумісної механічної характеристики (3), які наведені на рис. 2 (нормовані характеристики електродвигуна (1), долота (2) і їх сумісна механічна характеристика (3)):

$$M^* = M / M_N, n^* = n / n_N,$$

де  $M_N, n_N$  – номінальні моменти двигуна і частота обертання ротора [7].

Механічну характеристику двигуна побудовано за паспортними даними у відповідних одиницях, враховуючи, що  $U_{ном} = 560$ В,  $n_{ном} = 980$  хв<sup>-1</sup>, ККД = 92,5%,  $\cos \phi = 0,88$ , кратність максимального моменту  $K_M = 2,75$ , критичне ковзання  $S_{кр} = 0,33$ . Експериментально визначено, що механічна характеристика долота є нелінійною. На сумісній механічній характеристиці спостерігається

зменшення максимального моменту  $M_{max}$ , пускового моменту  $M_1$ , критичного ковзання  $S_{кр}$ .

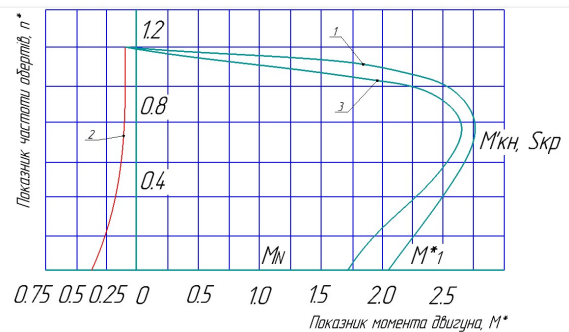


Рис.2 – Нормовані характеристики електродвигуна (1), долота (2) і їх сумісна механічна характеристика (3):

Проте, головний момент опору з боку навантаження створює колона бурильних труб, довжина якої постійно зростає в процесі буріння свердловини. На рис. 3 (1 -  $l = 1000$ м, 2 -  $l = 2000$ м, 3 -  $l = 3000$ м) у другому квадраті наведено нормовані механічні характеристики колони бурильних труб (1, 2, 3), а також у першому квадраті сумісна механічна характеристика (5) електродвигуна і долота та сумісна механічна характеристика електродвигуна, долота і колони бурильних труб довжиною  $l = 1000$ м (4) і довжиною  $l = 3000$ м (6). Аналіз впливу моменту опору з боку колони бурильних труб показує, що із збільшенням довжини колони суттєво зменшується максимальний момент  $M_{max}$ , пусковий момент  $M_1$  не змінюється. Збільшується і ковзання, одночасно зменшується жорсткість механічної характеристики і зменшується частота обертання ротора, кратність максимального моменту зменшується при глибині свердловини 300 м і частоті обертання ротора  $0,8^{n_0}$  до  $K_M = 1,2$  [8].

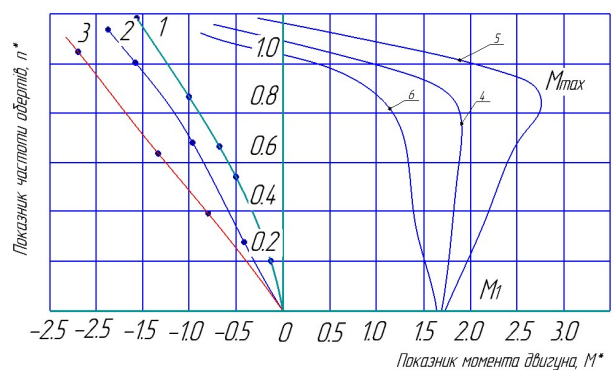


Рис. 3 – Нормовані механічні характеристики колони бурильних труб (1,2,3); сумісна механічна характеристика електродвигуна (СМХЕ) і долота (5); СМХЕ, долота і колони ( $l = 1000$ м) бурильних труб (4), СМХЕ, долота і колони ( $l = 3000$ м) бурильних труб (6):

Отже, гіпотеза про те, що частота обертання ротора (долота) і осьова сила на долото є незалежними, не підтверджується. Ця залежність є нелінійною. Суттєвою перевагою критерію оптимальності бурових доліт є можливість

контролювати його безпосередньо в процесі буріння свердловини. При цьому оптимальний режим буріння, який відбувається за умов апріорної та поточної невизначеності під впливом суттєвих завад (знос оснащення долота, випадкові зміни фізико-механічних і абразивних властивостей гірських порід, порушення досконалої промивки вибою та ін.) сприяє досягненню також максимальної проходки на долото [8].

Таким чином, неперервний контроль питомих втрат енергії, які можна розглядати як питому енергоємність процесу буріння свердловини, забезпечує підтримання оптимального режиму буріння свердловини в реальному часі. При переході бурового долота із однієї однорідної пачки порід в іншу спостерігається зміною величини питомих енерговитрат  $w$ , оскільки змінюється питома енергоємність гірських порід. Цей факт може бути використаний для поділу геологічного розрізу за питоною енергоємністю руйнування гірських порід.

Проте, для визначення величини питомих енерговитрат  $w$  інтегрованої системи слід враховувати, що параметрам, які входять у вираз для  $w$ , властива невизначеність, джерелами якої є [8]:

- 1) суттєві відхилення поточних значень осьової сили на долото, частоти обертання долота і моменту на долоті від середніх значень;
- 2) класифікація-ідентифікація нелінійного і стохастичного характеру зміни механічної швидкості буріння в часі;
- 3) недостатня ефективність очищення вибою свердловини від шламу;
- 4) коливання температури в зоні контактів зубців шарошки з гірською породою;
- 5) нелінійний характер зношення оснащення і опор долота в процесі буріння;
- 6) знос долота за діаметром;
- 7) вхід долота в зони з аномальними пластовими тисками;
- 8) відсутність інформації про ККД долота, який залежить від осьової сили на долото, властивостей бурового розчину (густини, в'язкості, водовіддачі, показників фільтрації, концентрації твердої фази і т.п.), зношення опор, оснащення долота, а також від змін умов буріння на вибої свердловини.

Відсутність методів і засобів поточної інформації про властивості порід і про технічний стан долота під час роботи не дозволяє глибоко вивчити цей процес. У той же час емпіричні залежності, одержані на базі статистичної обробки даних, неточні внаслідок комплексного впливу керувальних дій і фізико-механічних властивостей породи. Тому практичний інтерес представляють інтегральні оцінки властивостей комплексних закольматованих свердловин різновидів гірських порід [7].

Питома витрата енергії інформативно зв'язана з такими властивостями гірських порід як густина, пористість, проникність, твердість, буримість [6] і

зростає із збільшенням глибини  $H$  свердловини і зносу долота. Типовий графік залежності  $w$  ( $H$ ) наведено на рис. 4 [87].

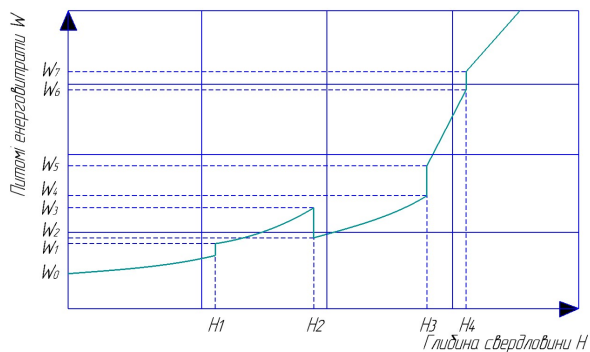


Рис. 4 – Графік залежності величини питомих енерговитрат  $w$  від глибини свердловини

Якщо ця тенденція порушується у бік зменшення показника  $w$ , то це свідчить про вхід долота в зону з аномально-високим пластовим тиском ( $H2 - H3$ ).

Контроль питомих витрат енергії  $w$  сприяє розв'язанню таких важливих геолого-технологічних задач як виявлення меж пластів гірських порід, визначення колекторських властивостей пластів, оцінки ефективності роботи доліт, оптимізація процесу буріння за критерієм оптимальності бурових доліт. Перехід долота із одного пласта в інший супроводжується ступінчатою зміною показника  $w$ , яка викликана неоднорідністю геологічного розрізу по енергоємності гірських порід [7].

Отже, гіпотеза про те, що частота обертання ротора (долота) і осьова сила на долото є незалежними, не підтверджується.

$$w = (0,001 \cdot \eta \cdot M_n + F_v) / V \cdot D^2, \text{ (кВт год)}/\text{м}^3$$

Ця залежність є нелінійною – рівняння [8] є математичною моделлю питомих витрат енергії як інтегральної контрольованої оцінки властивостей гірських порід на вибої свердловини, яка може бути використана для автоматизованого контролю цього параметру, а також оцінювати властивості порід в реальному часі і здійснювати моніторинг витрат енергії на буріння нафтових і газових свердловин.

Перед початком монтажу, до установки рам і балок необхідно переконатися у відповідності його технічним умовам та розмірам, указаним у кресленнях. Рами й балки повинні бути встановлені в строгій відповідності із заданими розмірами, прив'язані до центру свердловини з точністю до  $\pm 50$  мм, вивірені за рівнем у подовжньому і поперечному напрямках з точністю до 1 мм на 1 м.

Кожен комплект пасів, зв'язаних в один пакет, слід надягати на спільно працюючі шківні, оскільки при відправленні замовникові паси підбираються за довжиною відповідно до заданих технічних умов.

Найбільша різниця розмірів (за довжиною) комплекту спільно працюючих пасів завдовжки 5600 мм не повинна перевищувати 15 мм, а для пасів завдовжки 12000 і 10000 мм – 25 мм. Для надягання пасів необхідно зняти муфту ПМ 500, вийняти конічні штифти, від'єднати корпуси корінних підшипників від стійок, за допомогою консольно-поворотного крана підняти трансмісію на висоту, що забезпечує заклад клинових пасів, і завести паси. Після надягання клинових пасів потрібно встановити на місце та укріпити підшипники, вставивши штифти. Після надягання пасів між колінчастим валом і привідним валом редуктора, між веденим валом редуктора й трансмісіями, а також між секціями трансмісії необхідно провести перевірку центрування всіх валів. Центрування зводиться до вимірювання радіальних і осьових проміжків між стрілками пристосувань, установлених на валах, що перевіряються. Різниця проміжків між стрілками пристосувань при повороті валів електродвигуна і редуктора на 90 і 180° не повинна перевищувати 0,5 мм, а решти валів – 0,8 мм. У разі перевищення цього допуску необхідно провести перецентрування, яке повинен виконувати персонал, який має практичний досвід центрування валів.

**Деякі можливості галузевої хімічної інженерії за прикладами дослідження:** силові приводи і насоси необхідно встановлювати при дотриманні наступних умов: 1) осі струменів клинопасових шківів повинні лежати в одній площині, паралельний зсув однієї площини щодо іншої допускається не більше ніж 2 мм. 2) осі трансмісійних валів силових агрегатів і насосів повинні бути паралельні, відхилення не більше ніж 1 мм на 1 м довжини; 3) клинові паси повинні мати нормальний попередній натяг. При недотриманні цих умов клинопасові передачі працюватимуть незадовільно. Паси, маючи нерівномірний натяг, збігатимуть зі своїх струменів, будуть швидко зношуватися, створювати осьові навантаження на підшипники трансмісійних валів і на кріплення шківа бурового насоса, що може призвести до аварії.

Перевірку передач слід вести шляхом прикладання до торців шківів натягнутої струни, яка повинна без перегинів торкатися в двох діаметрально протилежних місцях торця кожного шківа. Перед перевіркою клинопасових передач необхідно зміряти товщину крайніх гребенів струмків шківів трансмісії, що вивіряються, і різницю вимірювань урахувати при перевірці. Між струною й площиною торця допускається просвіт у межах 1 мм. Контроль натягнення пасів здійснюється за допомогою вантажу вагою 10 кг, підвішеного до середини прольоту паса, і дерев'яної лінійки та характеризується максимальною величиною прогинання. Паси, не вживані, повинні мати при нормальному натягненні визначений прогин: трансмісійні паси завдовжки 5600 мм у межах 65–75 мм, паси привода насосів завдовжки 10000 і 12000 мм відповідно 130–140 мм.

Електродвигуни переважно монтуються на одній рамі з виконавчим механізмом. Вал електродвигуна центрується по веденому валу механізму, до якого він передає обертання. На рамах електродвигуни кріпляться болтами.

В установках з груповим приводом спочатку монтується ланцюговий редуктор, і він центрується з веденим валом коробки передач лебідки, а потім – силові агрегати. В більшості установок між редуктором і коробкою передач передбачені карданні вали. Силові агрегати групового привода монтуються на загальній рамі й кожний агрегат центрується по ведучому валу ланцюгового редуктора. В усіх установках між силовим агрегатом та редуктором є карданні вали й ШПМ. Обід і шків ШПМ посаджені на ведений вал ланцюгового редуктора: обід – нерухомо, а шків – на підшипниках. Шків муфти і турботрансформатор силового агрегату з'єднуються карданним валом. Уведення карданних валів в трансмісію БУ з ланцюговим редуктором значно спрощує їх монтаж, оскільки карданна передача вимагає менш точного центрування механізмів і агрегатів. Перекіс карданних валів у трансмісіях БУ з ланцюговим редуктором допускається до 85 мм на 1 м довжини вала. Горизонтальність ланцюгового редуктора і силових агрегатів перевіряється за рівнем, і вона досягається встановленням прокладок між рамами. Після цього кріпляться всі з'єднання.

Після закінчення монтажу необхідно підготувати механізми до випробування вхолосту без навантаження. Перед випробуванням треба звернути серйозну увагу на підготовку до роботи підшипників і трансмісії, понижуючих редукторів та коробки швидкостей. Зі всіх працюючих поверхонь підшипників і зубчастих зачеплень повинні бути зняті консервуючі покриття. Зазвичай консервація підшипників та зубчастих зачеплень проводиться густим мастилом, яке само по собі є змащувальним матеріалом, тому повністю видаляти її перед пуском не потрібно. Довговічність і працездатність привода бурової установки залежить від вчасного змащення поверхонь тертя і від правильно вибраних змащувальних матеріалів.

Представлені приклади технічної пропозиції дозволяють обґрунтувати доцільність та економічну ефективність введення запропонованих технічних рішень з модернізації закольматованих бурових установок з метою удосконалення їх конструкції, обґрунтування її технічної доцільності.

Суть технічного рішення з модернізації пневматичних клинів ротора полягає у тому, що порівняно із аналогом у модернізованих клинах ротора затискач ведучої труби забезпечений очищувачем ведучої труби і кришкою, поворотні вставки в кутах затискача ведучої труби оснащені верхніми і нижніми обмежувачами повороту і випадання всередину, під поворотними вставками на кінцях нижнього торця корпусу затискача встановлені конусні приводні пальці, очищувач

ведучої труби розміщений над поворотними вставками в кришці. Пропонованою модернізацією вирішується завдання створення пристрою для захоплення труб в роторі бурової установки, яке виключило б передачу великих крутних моментів, дозволило б передавати крутний момент при відхиленні від співвісності ведучої труби і прохідного отвору ротора, забезпечувало б силове центрування затискача з ведучою трубою клинами при неспіввісності клина і поглиблення під клин в затискачі ведучої труби, забезпечило б зниження контактного тиску між затискачем і ведучою трубою, а також очищення зовнішньої поверхні ведучої труби при виході її із свердловини. При впровадженні запропонованого модернізованого бурового ротора економічний ефект складатиме 86,1 тис. грн., що свідчить про доцільність запропонованого вдосконалення.

Проведено аналіз взаємозв'язків осьової сили на долото з частотою його обертання, що дозволило встановити нелінійно-спадаючий характер цієї залежності і врахувати цю закономірність в математичній моделі процесу буріння нафтових і газових свердловин. Отже, гіпотеза про те, що частота обертання долота і осьова сила на долото є незалежними не підтверджується. Побудовано сумісну механічну характеристику електродвигуна, долота і колони бурильних труб різної довжини, а також вдосконалено нелінійну математичну модель асинхронного двигуна привода стола ротора, яка описує зв'язок між поточним значенням ковзання та моментом двигуна. Це дозволяє використати її в системах цього моніторингу. Розроблено математичну модель для визначення питомих витрат енергії на буріння свердловин, яка може бути використана для створення засобів автоматизованого контролю цього параметру.

Проведені розрахунки працездатності підтверджують ефективність технічного рішення з модернізації пневматичних клинів ротора, т. як отримані коефіцієнти запасу міцності більші допустимих [1–5].

#### **Висновки та перспективи подальшого розвитку ієрархії комплексних складових інноваційного дослідження.**

Представлені можливості комплексного інноваційного дослідження, які можуть бути застосовані для різновидів галузей хімічної технології з урахуванням розвитку Європейської Федерації Хімічної Інженерії. Основною метою діяльності громадської організації «Українська асоціація хімічної та харчової інженерії» є вирішення питань розвитку хімічної та харчової промисловості та співпраці з Європейською Федерацією Хімічної Інженерії, участь та організація Українських та Міжнародних наукових конференцій, семінарів, симпозіумів, обмін науковими досягненнями, організація виставок, екскурсійних відвідувань наукових цінностей членів Організації та ін. [12–27].

Велике значення у вирішенні цієї проблеми відводиться підготовці відповідної науково-технічної літератури, що пояснює схему та логіку прийняття конструкторських та технологічних рішень за прикладами етапів їх виконання. Подальші технологічні рішення можуть і повинні змінюватися та коригуватись у ході їх здійснення на виконавчій фазі провадження [1–5].

Швидкими темпами розвивається комп'ютерне проектування технологічних процесів і систем, але в області комп'ютерного проектування залишається ще багато не вирішених питань. спеціалістам-проектувальникам необхідно, перш за все, пізнати логіку прийняття технологічних рішень, представити труднощі та альтернативи вибору раціональних рішень з безлічі можливих. Це дозволить їм більш реалістично ставитися до результатів та можливостей комп'ютерного проектування та програмування, яке найчастіше виконується в режимі діалогу між людиною та комп'ютером. У даному дослідженні проведено аналіз взаємозв'язків осьової сили на долото з частотою його обертання, що дозволило встановити нелінійно-спадаючий характер цієї залежності і врахувати цю закономірність в математичній моделі процесу буріння нафтових і газових свердловин. Отже, гіпотеза про те, що частота обертання долота і осьова сила на долото є незалежними не підтверджується.

Побудовано сумісну механічну характеристику електродвигуна, долота і колони бурильних труб різної довжини, а також вдосконалено нелінійну математичну модель асинхронного двигуна привода стола ротора, яка описує зв'язок між поточним значенням ковзання та моментом двигуна. Це дозволяє використати її в системах цього моніторингу. Розроблено математичну модель для визначення питомих витрат енергії на буріння свердловин, яка може бути використана для створення засобів автоматизованого контролю цього параметру.

Представлені можливості комплексного інноваційного дослідження можуть бути застосовані для різновидів галузей сучасної інженерії з урахуванням розвитку діяльності громадської організації «Українська асоціація хімічної та харчової інженерії» (представництво на кафедрі ІТПА НТУ «ХП») – пошук та наукове обґрунтування раціональних параметрів процесів хімічної інженерії [18–33].

#### **Список літератури**

1. Витрик В.Г., Кондратьєва А.В., Селинний М.Ю., Галушка Р.Н. Практика розробки виснажених нафтових родовищ України за допомогою технології направлено буріння (2017). Нафтогазова інженерія. Число 2. 19-26.
2. Технологія і техніка буріння / В.С. Войтенко, В.Г. Вітрик, Р.С. Яремійчук, Я.С. Яремійчук // Львів: Центр Європи, 2012.

3. Орловський В. М., Білецький В. С., Сіренко В. І. Нафтогазовилучення з важкодоступних і виснажених пластів. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, НТУ «Харківський політехнічний інститут», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2023. – 312 с.
4. Агейчева О.О., Зезекало І.Г., Бухкало С.І. Загальні системи аналізу віддачі пластів свердловин. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 103.
5. Зезекало І.Г., Іваницька І.О., Агейчева О.О. Основні принципи відновлення продуктивності свердловин закольматованих у процесах буріння та експлуатації методом кислотних обробок. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2020. – № 6 (1360). – С. 90–94. doi: 10.20998/2220-4784.2020.06.14
6. Зезекало І.Г., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Деякі задачі з підвищення віддачі пластів свердловини. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 149.
7. Svitlana Bukhhalo. The systems and models for complex polymer solid waste. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХПІ». С. 114.
8. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD2018) 17–19 мая 2018. Х.: Ч. II, с. 201.
9. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, – pp. 2047–2052.
10. Вольченко О.І. Курс лекцій з деталей машин та тестові завдання / О.І. Вольченко, В.С. Ловейкін, Д.Ю. Журавльов, В.Я. Малик – Івано-Франківськ. Прикарпатський університет імені Василя Стефаника, 2011. – 246 с.
11. Організація і планування операційної діяльності нафтогазових підприємств: Навч. посіб. / За ред. М. О. Данилюк. – Івано-Франківськ, 2009. – 364 с.
12. Лайонс, В., Плісга, Г., Ахмад, Н. (2015). Стандартний довідник з нафтової та газової інженерії. Elsevier.
13. Пелипенко О.І., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Інтегровані дослідження з удосконалення обладнання бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 617.
14. Бойко В.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Комплексне дослідження інтегрованої безпечної діяльності бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 555.
15. Крат Д.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. дослідження з удосконалення талевої системи бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 598.
16. Крат Д.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Дослідження інтегрованого підвищення фонтанної безпеки процесу буріння при освоєнні свердловини. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 594.
17. Тацій І.С., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Дослідження дії універсального гідравлічного розширювача на різних режимах буріння. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 635.
18. Бухкало С.І. Технологія основних харчових виробництв у прикладах і задачах (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2003. 184 с
19. Бухкало С.І., Товажнянський Л. Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 460 с.
20. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О., Орлова Є.І. Харчові технології у прикладах і задачах [текст] підручник К.: ЦНЛ, 2008. 600 с.
21. Бухкало С.І., Глюха М.Г., Лазарева Т.А. Технологічне обладнання харчової галузі (н.пос.). Х.: УПА-2009, 185
22. Бухкало С.І., Лазарев М.І., Глюха М.Г., Лазарева Т.А., Рубан Н.П., Новосельцев О.О. Процеси та апарати харчових виробництв (навч. пос.). Х.: УПА-2009, 153 с.
23. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Зипунников М.М., Ольховська О.І. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. К.: ЦНЛ, 2013. 352 с.
24. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 412 с.
25. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
26. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклади та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2018, 108 с.
27. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклади та тести з технології крохмалю). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2019, 108 с.
28. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклади та тести з технології переробки плодовоовочевої сировини), 2-ге вид. доп. Ч. 3. Підр. з грифом. К: «ЦНЛ»: 2022, 108 с.
29. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26.
30. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.:, 2014. № 16. С. 3–11.

31. Бухкало С.І. Комплексних інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 65–77.
32. Бухкало С.І., Земелько М.Л. Дослідження комплексного впливу складових шоколадної маси на її властивості та конкурентоспроможність для різновидів галузей Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 54–64.
33. Бухкало С.І., Якименко-Терещенко Н.В.. Приклади комплексного викладання дисциплін – інноваційні ресторани технології, товарознавство та управління закупівлями. Вісник НТУ «ХПІ». 2023. № 1(1365), 12.
12. Lajons, V., Plisga, G., Ahmad, N. (2015). Standartnij dovidnik z naftovoi ta gazovoi inzhenerii. Elsevier.
13. Pelipenko O.I., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Integrovani doslidzhennja z udoskonalennja obladnannja burovoi ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 1664 p., 617.
14. Bojko V.A., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Kompleksne doslidzhennja integrovanoi bezpechnoi dijalnosti burovoi ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kh.: NTU «KhPI». – 1664., 555.
15. Krat D.A., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. doslidzhennja z udoskonalennja talevoi sistemi burovoi ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 1664 p., 598.
16. Krat D.A., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Doslidzhennja integrovanoogo pidvishhennja fontanoi bezpeki procesu burinnja pri osvoenni sverdlolini Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kh: NTU «KhPI». – 1664 p., 594.
17. Tacij I.S., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Doslidzhennja dii universalnogo gidravlichnogo rozshirjuvacha na riznih rezhimah burinnja. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXHII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kh.: NTU «KhPI». – 1664 s., 635.
18. Bukhhalo S.I. Tehnologija osnovnih harchovih virobniectv u prikladah i zadachah (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2003. 184 p
19. Bukhhalo S.I., Tovazhnjanskij L. L., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevih proizvodstv i jenergosberezhenie (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 460 p.
20. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O., Orlova Є.І. Harchovi tehnologii u prikladah i zadachah [tekst] pidruchnik K.: CNL, 2008. 600 p.
21. Bukhhalo S.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A. Tehnologichne obladnannja harchovoi galuzi (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 185 p.
22. Bukhhalo S.I., Lazarev M.I., Iljuha M.G., Lazareva T.A., Ruban N.P., Novosel'cev O.O. Procesi ta aparati harchovih virobniectv (navch. posibnik). Kh.: UIPA-2009, 153 p.
23. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M., Ol'hov'ska O.I. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2013. 352 p.
24. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (testovi zavdannja) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2014. 412 p.
25. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
26. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch.

### References (transliterated)

1. Vitrik V.G., Kondrat'eva A.V., Selinnyj M.Ju., Galushka R.N. Praktika rozrobki visnazhenih naftovih rodovishh Ukraïni za dopomogoj tehnologii napravlenogo burinnja (2017). Naftogazovaja inzhenerija. Chislo 2. 19-26.
2. Tehnologija i tehnika burinnja / V.S. Vojtenko, R.S. Jaremijchuk, Ja.S. Jaremijchuk // L'viv: Centr Ėvropi, 2012.
3. Orlov'skij V.M., Bilec'kij V.S., Sirenko V.I. Naftogazoviluchennja z vazhkodostupnih i visnazhenih plastiv. Kh: Harkiv'skij nacional'nij universitet mis'kogo gospodarstva imeni O.M. Beketova, NTU «Kharkiv'skij politehničnij institut», TOV NTP «Burova tehnika», L'viv, Vidavniectvo «Novij Svit – 2000», 2023. – 312 p.
4. Agejcheva O.O., Zezekalo I.G., Buhkalo S.I. Zagal'ni sistemi analizu viddachi plastiv sverdlolin. XXIX Mizhn. n-prakt. konf. «Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021 r.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Harkiv: NTU «KhPI». P. 103.
5. Zezekalo I.G., Ivanic'ka I.O., Agejcheva O.O. Osnovni principii vidnovlennja produktivnosti sverdlolin zakol'matovanih u procesah burinnja ta eksploatacii metodom kislotnih obrobok. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2020. – № 6 (1360). – Pp. 90–94. doi: 10.20998/2220-4784.2020.06.14
6. Zezekalo I.G., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Dejaki zadachi z pidvishhennja viddachi plastiv sverdlolini. XHII Mizhn. nprakt. konf. «Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 149.
7. Svitlana Bukhhalo. The systems and models for complex polymer solid waste. XHII Mizhn. n-prakt. konf. «Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021 u 5 ch. Ch. II. / red. prof. Sokola Є.І. NTU «KhPI». 114.
8. Buhkalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. XXVI Mezhd. nprakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD2018) 17–19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
9. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyanskyy L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, – pp. 2047–2052.
10. Vol'chenko O.I. Kurs lekcij z detalej mashin ta testovi zavdannja / O.I. Vol'chenko, V.S. Lovejkin, D.Ju. Zhuravl'ov, V.Ja. Malik – Ivano-Frankiv'sk. Prikarpat'skij universitet imeni Vasilja Stefanika, 2011. – 246 s.
11. Organizacija i planuvannja operacijnoi dijalnosti naftogazovih pidpriemstv: Navch. posib. / Za red. M. O. Daniljuk. – Ivano-Frankiv'sk, 2009. – 364 p.

2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiiv «Centr uchbovoi literaturi»: 2018, 108 p.
27. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii krohmalju). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidruchnik z grifom MON. K «Centr uchbovoi literaturi»: 2019, 108 p.
28. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii pererobki plodoovochevoї sirovini), 2-ge vid. dop. Ch. 3. Pidruchnik z grifom. K: «CNL»: 2022, 108 p.
29. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaves and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26.
30. Bukhhalo S.I. Udoskonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». Kh.: 2014. № 16, pp. 3–11.
31. Bukhhalo S.I. Kompleksnih innovacijni sistemi vikladannja disciplini suchasni tehnologii harchuvannja – modeli programuvannja.. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.
32. Bukhhalo S.I., Zemel'ko M.L. Doslidzhennja kompleksnogo vplivu skladovih shokoladnoї masi na її vlastivosti ta konkurentospromozhnist' dlja riznovidiv galuzej. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 54–64.
33. Bukhhalo S.I., N.V. Jakimenko-Tereshhenko. Prikladi kompleksnogo vikladannja disciplin – innovacijni restoranni tehnologii, tovaroznavstvo ta upravlinnja zakupivljami. Visnik NTU «KhPI». 2023. № 1(1365), pp. 12–23.

Надійшла (received) 19.07.2024

#### Відомості про авторів / About the Authors

**Пелипенко Олексій Ігорович (Pelypenko Oleksii Ihorovytsch)** – магістрант кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна; e-mail: [savycvasyl@ukr.net](mailto:savycvasyl@ukr.net)

**Савик Василь Миколайович (Savuk Vasyl Mykolaiovych)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0706-0589> ;

e-mail: [savycvasyl@ukr.net](mailto:savycvasyl@ukr.net)

**Буххало Світлана Іванівна (Bukhhalo Svitlana Ivanivna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1389-6921>;

e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

**Агейчева Олександра Олександрівна (Aheicheva Oleksandra Oleksandrivna)** – голова циклової комісії бурових дисциплін Полтавського фахового коледжу нафти і газу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0140-9604>;

e-mail: [ageicheva@ukr.net](mailto:ageicheva@ukr.net)

**O. I. PELYPENKO, V. M. SAVYK, S. I. BUKHKALO, O. O. AHEICHEVA**

#### MATHEMATICAL MODELS OF THE INTEGRATED RESEARCH OF THE DRILLING RIG IN EXAMPLES OF WELL PRODUCTIVITY RESTORATION

The materials of the article consider examples of opportunities for determining the goals of integrated research of clogged drilling rigs. The reasons for the decrease in permeability, which occurs during the construction and operation of the well, are analyzed. The reasons for the decrease in the permeability of the bottom-hole zone of reservoir rocks, which occur in the process of drilling, cementing, secondary opening and development of wells, have been determined. The main principles of development, analysis and implementation of recovery processes using modern highly effective science-based technologies, for example, synergistic processes with hard-to-extract oil reserves, were studied as a criterion for evaluating the effectiveness of integrated research. Integrated studies are defined as from types of classification-identification analysis, general concepts and requirements to types of methodology for determining quality indicators and their evaluation through the selection of analysis algorithms and calculations at various stages of production. The analysis of mathematical models of improving the quality of integrated drilling rig research due to the use of new working agents and technology improvement was carried out.

**Key words:** mathematical models, synergistic processes, well productivity, formation near-off zone, chemical methods, pollution.