

# Нові рішення у сучасній техніці та технологіях

УДК 622.276:004.896

DOI: 10.31471/1993-9868-2023-2(40)-73-87

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ

*І. І. Чудик, Д. О. Паневник*

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(0342) 727101;  
e-mail: den.panevnik@gmail.com*

*Більшість сучасних цифрових технологій, які є складовими елементами четвертої промислової революції, можуть застосовуватись для підвищення ефективності реалізації виробничих процесів у нафтогазовій галузі і, зокрема, при здійсненні пошуково-розвідувальних робіт, плануванні та оптимізації операцій будівництва і експлуатації свердловин та методів вторинного нафтогазовидобутку і підвищення проникності продуктивного горизонту. Управління інформаційними потоками дозволяє суттєво зменшити операційні витрати, пов'язані з нафтогазопромисловою логістикою. Виробничі процеси нафтогазової галузі супроводжуються збором, передачею, обробленням та зберіганням значних обсягів інформації, спрямованих на прийняття та реалізацію необхідних рішень. В цих умовах провідного значення набувають технології управління великими даними. Поширення цифрових технологій, зважаючи на особливості реалізації нафтогазових технологій, вимагає удосконалення заходів та засобів захисту від несанкціонованого втручання в процеси управління інформаційними потоками. Застосування технології розподіленого реєстру унеможливає витік даних та забезпечує високий рівень захисту інформаційного поля. Проведеними дослідженнями встановлено області раціонального використання при моделюванні робочих процесів нафтогазового обладнання програм-симуляторів та спеціальних прикладних програм у вигляді автоматизованих розрахункових алгоритмів. Програми-симулятори не потребують наявності математичного опису робочого процесу нафтогазової машини, однак є малоефективними у випадку значної кількості розрахункових операцій. Застосування автоматизованого розрахункового алгоритму доцільне за необхідності залучення численних масивів вихідних даних, аналіз яких передбачає виконання численних розрахункових процедур. Збільшення частки використання цифрових технологій в освітньому процесі передбачає широке впровадження електронного документообігу, легалізацію електронного підпису та дистанційних методів навчання.*

*Ключові слова: інтернет речей, великі дані, кіберзагрози, розумне родовище, імітаційне моделювання, автоматизований розрахунковий алгоритм.*

*Most modern digital technologies, which are part of the fourth industrial revolution, can be used to improve the efficiency of production processes in the oil and gas industry, in particular, in exploration, planning and optimisation of well construction and maintenance operations, secondary oil and gas recovery methods and enhanced oil and gas recovery. Information flow management can significantly reduce operating costs associated with oil and gas field logistics. Production processes in the oil and gas industry are accompanied by the collection, transmission, processing and storage of significant amounts of information aimed at making and implementing the necessary decisions. In these conditions, big data management technologies are becoming increasingly important. The proliferation of digital technologies, given the peculiarities of oil and gas technologies, requires improvement of measures and means of protection against unauthorised interference with information flow management processes. The use of distributed ledger technology makes data leakage impossible and provides a high level of*

protection of the information field. The conducted research has identified areas of rational use of simulation software and special applications in the form of automated calculation algorithms in modelling the work processes of oil and gas equipment. Simulation programs do not require a mathematical description of the oil and gas machine's workflow, but are ineffective in the case of a significant number of calculation operations. The use of an automated calculation algorithm is advisable if it is necessary to involve numerous arrays of source data, the analysis of which involves the implementation of numerous calculation procedures. Increasing the share of digital technologies in the educational process involves the widespread introduction of electronic document management, the legalisation of electronic signatures and distance learning methods.

Keywords: internet of things, big data, cyber threats, smart deposit, simulation modeling, automated calculation algorithm.

### Вступ

Одним з основних трендів четвертої промислової революції є цифровізація світової економіки. Відповідно до звіту консалтингової компанії Fortune Business Insights (Індія) [1], прогнозується, що розмір глобального ринку цифрової трансформації досягне 8,92 трильйона доларів США до 2030 року при середньорічному темпі зростання 21,6% протягом прогнозованого періоду. Нафтогазові оператори, нафтогазопромислові і сервісні компанії також аналізують роль цифрових технологій при реалізації процесів в нафтогазовій галузі.

Сучасні нафтогазові підприємства були створені в період дефіциту ресурсів. Щоб отримати ці ресурси, які важко знайти та розробити, компанії створили великі складні організації з потужними централізованими функціями. Ця модель дозволила їм вирішувати надскладні технічні завдання, керувати великими політичними та операційними ризиками та, за потреби, розгортати дефіцитні кадри по всьому світу. В умовах нестабільних цін на нафту така модель призвела до значної складності управління, стримування інновацій і уповільнення прийняття рішень. Консалтингова компанія McKinsey & Company (США) зазначає, що нафтогазова промисловість є єдиною галуззю, яка втратила ефективність за останні 100 років порівняно з більшістю інших активоемних галузей [2]. При цьому ефективне використання цифрових технологій у нафтогазовому секторі може скоротити капітальні витрати до 20%, а експлуатаційні витрати можуть бути знижені на 3–5% на стадії upstream (розвідка та видобуток) і приблизно вдвічі більше на стадії downstream (збут і реалізація нафтогазової продукції). Типова офшор-платформа працює лише на 77% від максимальної (потенціальної) продуктивності. Цей дефіцит становить 200 мільярдів доларів США у річному загальногалузевому доході, що вимагає впровадження передових цифрових технологій для покращення ефективності операційної діяльності. Кембриджська асоціація енергетичних досліджень оцінює потенціал

оцифрування родовищ у 125 млрд барелів – настільки в середньостроковій перспективі можна збільшити віддачу відкритих родовищ тільки за рахунок покращення організації робіт. В процесі внутрішнього аудиту нафтогазових компаній з'ясувалося, що нафтовіки-інженери витрачають до 80 % свого робочого часу на пошук даних для поточного проекту. З появою індустрії 4.0 нафтогазова промисловість розглядає низку цифрових технологій, спрямованих на підвищення продуктивності, ефективності та безпеки технологічних операцій при мінімізації капітальних та експлуатаційних витрат, ризиків для здоров'я та навколишнього середовища [3]. Останнім часом такі галузі, як машинобудування, автомобілебудування, авіація та охорона здоров'я, продемонстрували переваги, які забезпечує застосування цифрових технологій. Деякі компанії та експерти вважають [4], що «Нафта і газ 4.0» може повністю змінити статус-кво нафтогазової галузі та принести величезні переваги нафтогазовій галузі. Однак «Нафта і газ 4.0» все ще перебуває початковому стані. Результати опитування, проведеного консалтинговою компанією General Electric і Accenture (Ірландія), показують, що 81 % керівників нафтогазових компаній вважають цифрові технології управління даними одним з трьох пріоритетів розвитку галузі [5]. За даними корпорації IDC Energy (США) ще шість років тому 70 % операторів нафтогазової промисловості США не були знайомі з технологією управління масивами даних та їх додатками у нафтовому машинобудуванні. Це показує, наскільки зростає інтерес до цифрових технологій серед керівників нафтогазової галузі. Зважаючи на здатність інформаційних систем суттєво підвищити ефективність здійснення процесів розробки родовищ вуглеводнів при одночасному зниженні рівня ризиків охорони праці, охорони здоров'я та капітальних і операційних витрат дослідження спрямовані на аналіз особливостей цифрової трансформації нафтогазової галузі є актуальним завданням.

### Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

В процесі аналізу проведеного в інституті досліджень транспорту та логістики Сіднейського університету (Австралія) показана необхідність віртуальної візуалізації ланцюга постачань продукції свердловин [6] на основі горизонтальної інтеграції, забезпечення масштабованості та онлайн-оптимізації при управлінні інформаційними потоками. Нафтогазовидобувні компанії зрозуміли важливість використання інформаційних стратегій, проте більшість операторів лише на першому етапі еволюції до цифрового перетворення галузі. Необхідність удосконалення цифрових навичок та поширення цифрової культури співробітників нафтогазового сектору з метою захисту від майбутніх кібератак та інших потенційних ризиків відзначається в дослідженні, проведеному в Університеті Технологій та Економіки (Угорщина, Будапешт) [7]. У цьому дослідженні розглядаються тенденції щодо цифрової трансформації ланцюга постачання нафти та газу на прикладі норвезької нафтопереробної компанії Equinor. На основі напівструктурованих інтерв'ю керівників та аналізу відкритих документів двох нафтосервісних компаній Північної Америки встановлено вплив цифровізації нафтогазової промисловості на збільшення можливостей працевлаштування співробітників, зменшення кількості стресових ситуацій на робочому місці, покращення місцевої економіки та зростання рівня добробуту [8]. Позитивні соціальні зміни супроводжують підвищення ефективності реалізації процесів розробки родовищ вуглеводнів, які полягають у зменшенні собівартості процесів буріння та продукції свердловин. Школа економіки та менеджменту Китайського нафтового університету (Пекін, Китай) розглядає три аспекти трансформації нафтогазової галузі: розвиток технологій, застосування спланованого сценарію і використання стандартної формули для просування і широкомасштабного впровадження технології блокчейну для удосконалення системи та забезпечення ефективного управління даними [9]. Технологія блокчейну розглядається як засіб комунікації між пристроями технології інтернету речей. В роботі [10] досліджено доцільність використання технологій інтелектуальних нафтогазових родовищ, виокремлено низку проблем, які вирішуються шляхом впровадження цих технологій у нафтогазових компаніях, визначена група критеріїв, за якими варто проводити оцінку родовища на початковому етапі і визначити його потребу в застосуванні інтелектуальних техно-

логій. На шляху до вдалого впровадження технологій інтелектуальних нафтогазових родовищ існує значна кількість перешкод, проте їх об'єднує спільна риса: всі вони є внутрішніми перешкодами, пов'язаними з бізнесом [11]. Для їх усунення нафтогазовим підприємствам необхідно активізувати процеси подолання опору впровадженню технологій шляхом інформування та навчання працівників для більш чіткого розуміння переваг технології, що впроваджується. Необхідно також відзначити значний обсяг досліджень, присвячених імітаційному моделюванню робочих процесів нафтогазового обладнання [12].

### Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Попри значну кількість досліджень, присвячених використанню цифрових технологій, та широкий спектр застосування, особливості їх впровадження в нафтогазову промисловість визначені недостатньо. Вивчення досвіду застосування інформаційних систем, зазвичай, обмежується аналізом можливостей реалізації поодиноких технологічних операцій із залученням окремих складових концепції «Четверта промислова революція». Потребують подальшого вивчення загрози діяльності нафтогазовим компаніям, можливі наслідки несанкціонованих втручань в інфраструктуру нафтогазового сектора та питання захисту інформації. Зважаючи на необхідність автоматизації процесів проєктування конструкцій і режимів експлуатації бурового та нафтогазової промислового обладнання, необхідно визначити області раціонального використання програмних засобів, спрямованих на оптимізацію робочого процесу складових елементів нафтогазового комплексу.

### Мета та завдання досліджень

Метою досліджень, результати яких представлені в даній роботі, є узагальнення досвіду використання цифрових технологій в нафтогазовій галузі.

Поставлена мета передбачає виконання наступних завдань досліджень:

- аналіз ефективності застосування інформаційних систем під час буріння та експлуатації нафтогазових свердловин;
- вивчення особливостей захисту інформації та можливих наслідків несанкціонованих втручань в інфраструктуру нафтогазового сектора;
- визначення області використання імітаційних програм-симуляторів та спеціально створених прикладних програм для автомати-

зації процесів проектування конструкцій і режимів експлуатації бурового та нафтогазопромислового обладнання.

### Висвітлення основного матеріалу дослідження

Аналіз цифрової трансформації нафтогазової галузі ускладнюється значною кількістю заходів та засобів управління інформаційними потоками: інтернету речей (фізичні пристрої, давачі, програмне забезпечення та засоби передачі даних), інтернету послуг («хмарні» технології), великих даних (набори інформації), кіберфізичних систем (комп'ютерні та мережеві технології), розумних родовищ, віртуальних свердловин, 3D-друку, штучного інтелекту, промислових роботів та інше. Поняття, пов'язані із виникненням «Четвертої промислової революції», з'явилися не так давно, знаходяться в стадії становлення і поки не мають строго визначених формулювань, внаслідок чого одні й ті ж її складові різні розробники називають технологіями, методами, концепціями, сервісами, системами та мережами. Наявність в різних концепціях та технологіях складових елементів подібного функціонального призначення, недостатня визначеність термінології та неякісний переклад створюють додаткові труднощі у розумінні особливостей управління інформаційними потоками.

Незважаючи на те, що концепція застосування цифрових технологій для управління процесами в нафтогазовій галузі на сьогоднішній день знаходиться на стадії формування аналіз досвіду розробки вуглеводневих родовищ із широким залученням інформаційних систем дозволяє виділити основні компоненти схеми взаємодії їх ключових елементів.

Проаналізуємо досвід використання технологій четвертої промислової революції для підвищення ефективності реалізації виробничих процесів в нафтогазовій галузі (табл. 1).

Американська компанія *Nilcorp Energy* (США) при видобуванні нафти з-під дна Тихого океану модернізувала свої електричні занурювальні насоси: кожен з них зараз оснащений спеціальними давачами, які через хмару *Microsoft Azure* передають дані про свій стан за сотні кілометрів у центральний офіс компанії [13]. Завдяки цьому команда інженерів може у режимі реального часу контролювати температуру, тиск, швидкість потоку та інші важливі показники на всіх родовищах одночасно. Якщо виникає несправність, працівники свердловини дізнаються про це впродовж п'яти хвилин. Вони отримують інформацію не лише про конкре-

тний насос та зламану деталь, а й поради від інженерів щодо ремонту. Це економить близько шести годин роботи та кілька десятків мільйонів доларів.

Компанія *Shell* використовує штучний інтелект та машинне навчання для передбачення необхідності технічного обслуговування компресорів, клапанів та іншого обладнання, а також для допомоги в керуванні процесами буріння сланцевих порід [14]. Технології штучного інтелекту, використовуючи дані в режимі реального часу, допомагають змінювати напрям буріння свердловини та зменшують зношення бурового інструменту. Завдяки попереджувальному технічному обслуговуванню ефективність виробництва підвищується на 10%, а експлуатаційні витрати зменшуються на 200 млн доларів США.

Компанія *Robotic Drilling Systems AS (RDS)* розробила повністю автоматичну систему буріння, що практично не потребує участі людини (м.Ставангер, Норвегія) [15]. Комбінація чотирьох роботів-маніпуляторів дає економію до 40 днів буріння на рік, скорочує витрати на технічне обслуговування до 25 %, витрати на персонал – до 20 %, прискорює монтаж обладнання, знижує рівень шуму, споживання енергії та викиди CO<sub>2</sub>. Технологія надає велику кількість даних про процес буріння для його кращого розуміння та оптимізації.

Компанія *Saudi Aramco* використовує цифрові технології для оптимізації розробки та експлуатації нафтогазових пластів, використовуючи програмний продукт «Інтегроване середовище пластової інженерії» (*REOnline*), призначений для планування, розробки та керування пластами та родовищами [16]. Запровадження пластових нанороботів на нафтових родовищах, що знаходяться на пізніх стадіях експлуатації, дозволить збільшити коефіцієнт видобування нафти до 60–70 %.

У проєкті *British Petroleum (BP)* «Поле майбутнього» розроблені та застосовуються додатки, пов'язані з великими даними: *Big Data Application Framework*, *CoRE (Collaborative Real Time Environment)*, *ACEs (Advanced Collaboration Environment Centre)* [17], які дозволяють компанії ефективно здійснювати контроль безпеки буріння, зменшувати простой обладнання, оптимізувати планування робіт.

Нафтогазова компанія *Chevron* оснастила своїх польових техніків окулярами змішаної реальності *Hololens*, розробленими *Microsoft*, що дозволило в режимі реального часу отримувати віддалену технічну допомогу у складних ситуаціях, скоротити транспортні витрати, зни-

Таблиця 1 – Аналіз досвіду використання технологій четвертої промислової революції

Компанія	Цифрова технологія	Технологічний процес
Hilcorp Energy (США)	Інтернет речей (Internet of Things, IoT), інтернет послуг (Internet of Services (IoS))	Механізований нафтовидобуток на морі
Royal Dutch Shell (Голландія, Британія)	Штучний інтелект (Artificial Intelligence, AI) та машинне навчання (Machine Learning)	Технічне обслуговування обладнання, керування процесами буріння
Robotic Drilling Systems AS AS (RDS) (Норвегія)	Роботизація виробництва (Ad-vanced robotics)	Оптимізація процесів буріння свердловин
SaudiAramco (Саудівська Аравія)	Роботизація виробництва (Ad-vanced robotics)	Впровадження пластових нанороботів для інтенсифікації нафтогазовидобутку
British Petroleum (Британія)	Великі дані (Big Data)	Оптимізація планування процесів буріння свердловин
Chevron Corporation (США)	Віртуальна (доповнена) реальність (Augmented Reality, AR )	Технічне обслуговування, моделювання пласта
Enverus (США) (Drillinginfo)	Аналітика великих даних (Big Data Analytics)	Моніторинг стану бурових установок, характеристик свердловин та прогнозування їх продуктивності
School of Economics and Management (China University of Petroleum) (Китай)	Інтернет речей (Internet of Things, IoT), Великі дані (Big Data)	Моніторинг в режимі реального часу та оптимізація процесу експлуатації родовища сланцевого газу
East Coast Drilling Inc (США)	Великі дані (Big Data)	Моніторинг та оптимізація процесу проведення спуско-підйомних операцій при бурінні
China University of Geosciences (Китай)	Імітаційне моделювання (Simulation)	Оптимізація системи заводнення продуктивного горизонту
ADNOC (Об'єднані Арабські Емірати)	Блокчейн (Blockchain)	Управління даними, активами та логістичними ланцюгами
Benha University (Об'єднані Арабські Емірати)	Розумне нафтогазове родовище (Smart (Intelligent) Oil and Gas field)	Оптимізація режиму експлуатації нафтогазових свердловин

зити затримки в усуненні поломок обладнання, прискорити роботи з технічного обслуговування, захистити персонал, попереджуючи його технічні помилки, підвищити безпеку на нафтових родовищах [18]. Голографічне проектування 3D-моделі нафтового родовища Марлоу в Мексиканській Затоці є прикладом застосування AR-пристроїв для попередньої оцінки покладів вуглеводнів.

Компанія Enverus (США) (раніше Drill-?nginfo) на основі аналітики великих даних забезпечує сервіс «Аналітика бурової установки» (Rig Analytics), який відстежує понад 95 % парку бурових установок США щодня, головним чином, за допомогою пристроїв GPS [19]. Компанія відстежує також пробурені, але незавершені свердловини для прогнозування майбутньої продуктивності видобутку. Інформація про

характеристики свердловини надходить користувачам безпосередньо з бази даних Enverus Rig Analytics і оновлюється щодня.

Застосування інтернету речей у режимі реального часу та технології великих даних дозволило реалізувати щохвилинний збір даних та щогодинне раннє попередження про можливі несправності на Чаннінському родовищі сланцевого газу, яке є першим у Китаї за обсягом добового видобутку сланцевого газу [9]. Економія коштів внаслідок своєчасного виявлення відхилень, передбачення імовірності виникнення аварійних ситуацій та наукової оцінки стану нафтогазових родовищ перевищує 20 %.

Автоматизований моніторинг стану бурових робіт під час буріння в Баккені (Мексиканська Затока) компанією East Coast Drilling Inc. з використанням технології великих даних до-

зволив оптимізувати технологію проведення спуско-підйомних операцій з бурильною колоною на 45 %, скоротити тривалість часу не пов'язаного безпосередньо з бурінням та зекономити понад 11,75 днів на одній площадці з дев'яти пробурених свердловин [20].

Прикладом використання технологій імітаційного моделювання є модель продуктивного горизонту, розроблена Китайським університетом геонаук (China University of Geosciences) [21]. В процесі моделювання встановлена доцільність зростання швидкості закачування води, кількості нагнітальних свердловин системи підтримування пластового тиску, зміна їх структури та розташування. Зростання довжини горизонтальної експлуатаційної свердловини дозволяє збільшити коефіцієнт нафтовилучення з 41 % до 50 %.

Національна нафтова компанія Абу-Дабі (ADNOC), що базується в ОАЕ, оголосила про запровадження технології блокчейну для операцій з видобутку нафти та газу у співпраці з корпорацією IBM (США) [22]. Застосування блокчейну в обліку видобутку нафти та газу зменшує операційні витрати шляхом автоматичної реєстрації обсягів видобутої та спрямованої користувачам продукції свердловин, внаслідок чого підвищується ефективність управління даними, активами та логістичними ланцюгами компаній.

Вперше застосування розумних свердловин було реалізовано компанією Saga Petroleum (Норвегія) (сьогодні підрозділ Statoil) у 1997 році на родовищі Snorre у Північному морі. З того часу у світі з'явилося понад 50 тис. розумних свердловин. В університеті Бенха (Об'єднані Арабські Емірати) розроблена концепція розумного нафтогазового родовища, яка включає систему для збору характеристик експлуатаційних свердловин та технічного стану обладнання [23]. На основі інформації від давачів, до якої мають доступ менеджер, інженер і оператор, система самостійно здійснює операції з регульовальними клапанами та оптимізує режим експлуатації нафтогазових свердловин. За даними компанії VYGON Consulting, цифрові родовища забезпечують оптимальний технологічний режим видобутку нафти, що дозволяє підвищити коефіцієнт вилучення на 5–10 відсоткових пунктів, призводить до підвищення обсягів видобутку до 20 %, зниження операційних витрат на 20 % та скорочення довгострокових інвестицій наполовину.

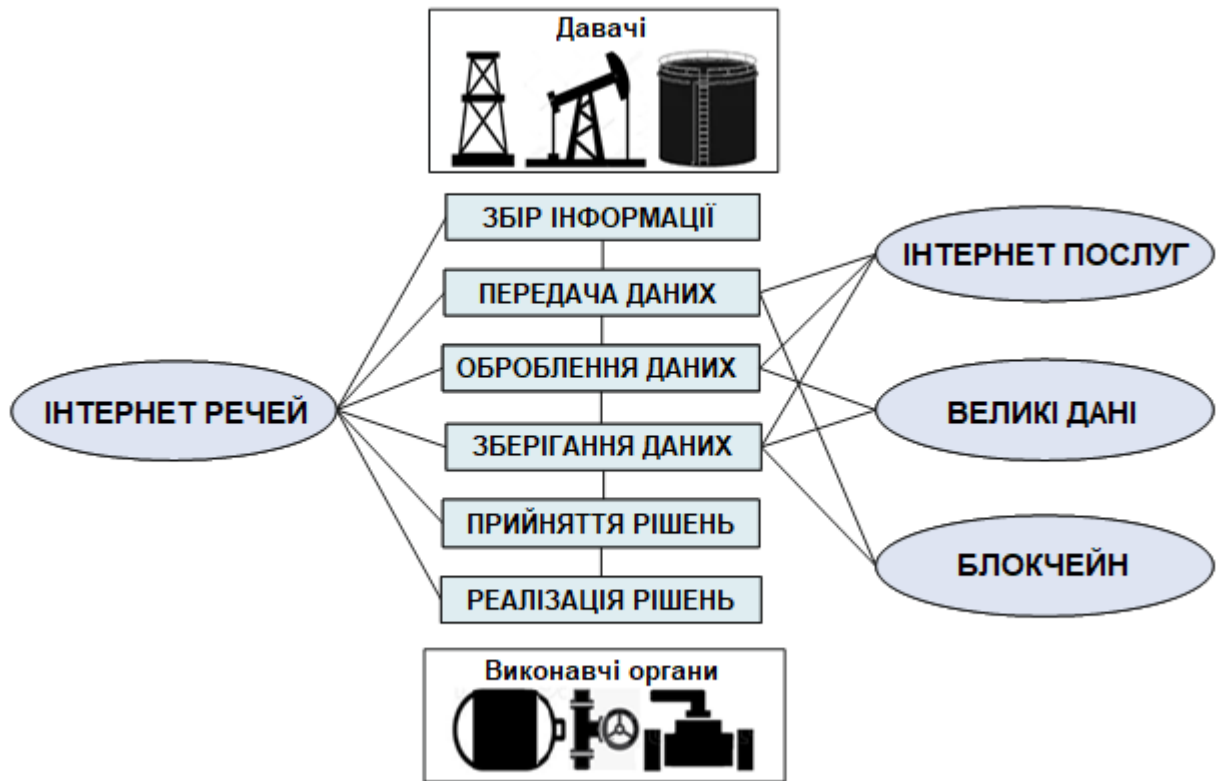
Проведений аналіз дає підстави стверджувати про те, що більшість зумовлених концепцією четвертої промислової революції сучасних

цифрових технологій може застосовуватись для підвищення ефективності реалізації виробничих процесів нафтогазової галузі.

Досвід застосування цифрових технологій, таким чином, поширюється на моделювання процесів, що відбуваються в продуктивному горизонті, планування та оптимізацію операцій буріння, експлуатації свердловин, пластового заводнення, інтенсифікації нафтогазовидобутку та нафтогазопромислової логістики. Однією з найбільш ефективних областей використання інформаційних систем є віддалений моніторинг в режимі реального часу та дистанційне технічне обслуговування нафтогазопромислового обладнання. Поширеність застосування сучасних цифрових технологій для підвищення ефективності реалізації будь-яких виробничих процесів розробки покладів вуглеводнів свідчить про їх світове значення. Необхідно також відзначити, що сучасні інформаційні системи сьогодні застосовуються як світовими, так і національними та регіональними нафтогазовими і сервісними компаніями.

Управління інформаційними потоками і, зокрема, базами даних є визначальною особливістю сучасних цифрових технологій. Система управління інформаційними потоками в нафтогазовій галузі може бути представлена у вигляді чотирьох основних ключових технологій: інтернету речей, інтернету послуг, великих даних та блокчейну, які дозволяють здійснювати операції з базами даних, що генеруються при виконанні виробничих процесів розробки покладів вуглеводнів (рис. 1).

Технології концепції інтернету речей є глобальною системою управління інформаційними потоками та дають змогу здійснювати повний цикл операцій поводження з базами даних, починаючи від збору показів давачів при бурінні та експлуатації свердловин і до реалізації прийнятих рішень за допомогою смарт-систем та роботизованих виконавчих органів. Інші цифрові технології, на відміну від інтернету речей, забезпечують реалізацію окремих етапів поводження з базами даних. Технології інтернету послуг забезпечують передавання даних, їх оброблення (зокрема хмарні, туманні та крайові обчислення) та зберігання інформації. Технології великих даних є потужним інструментом для оброблення та зберігання даних. Найбільш відомими методами реалізації даних технологій є віртуальна та доповнена реальність, імітаційне моделювання, машинне навчання та штучні нейронні мережі. Технологія блокчейну забезпечує захищений електронний супровід обміну та зберігання даних.



**Рисунок 1 – Функціональне призначення технологій управління інформаційними потоками в нафтогазовій галузі**

Особливість управління інформаційними потоками в нафтогазовій галузі полягає у неперервній генерації великої кількості даних при здійсненні виробничих процесів буріння та експлуатації свердловин. Зокрема сьогодні існує більше 60 різних датчиків, які реєструють різні параметри під час ведення бурових робіт [24], а щоденний внутрішній трафік, що генерується компанією Chevron, становить понад 1,5 терабайт [25]. Для збереження такого обсягу інформації у щорічному вимірі необхідно не менше сотні сучасних комп'ютерів. За даними Deloitte (група компаній у сфері аудиторських та консалтингових послуг, Англія) середня нафтогазова компанія використовує півмільйона процесорів тільки для моделювання нафтових і газових покладів [26]. Необхідність постійного моніторингу в режимі реального часу, передавання, оброблення, зберігання та використання великих обсягів даних із врахуванням значної кількості різноманітних джерел інформації та складних умов експлуатації нафтогазопромислового обладнання є підставою пріоритетного використання в енергетичному секторі технологій поводження з великими даними.

Нафтогазові системи сьогодні стали популярними мішенями програм-вимагачів, які вже вразили виробників вуглеводнів на Близькому Сході, у США та Східній Європі. Причиною

привабливості нафтогазових компаній для кіберзлочинців є вирішальне значення енергетичної інфраструктури для сучасної економіки. За даними дослідницького проекту S&P Global Platts Oil Security Sentinel™, за останні 5 років було зареєстровано 35 великих інцидентів несанкціонованого втручання в діяльність нафтогазового сектора. Розглянемо наслідки найбільш відомих задокументованих кібератак на інфраструктуру нафтогазової галузі за останні роки (табл. 2) [27].

Кібератака хакерської групи з використанням шкідливого програмного забезпечення змусила найбільшого оператора нафтопроводу в США Colonial Pipeline, який забезпечує 45% поставок дизеля, бензину та авіаційного палива на східне узбережжя припинити всі операції. Припинення роботи призвело до дефіциту палива та паніки закупівель у кількох штатах США. Президентом країни був оголошений надзвичайний стан. Робота трубопровідної системи була відновлена після сплати компанією викупу у розмірі 4,4 мільйона доларів США.

Використання шкідливого програмного забезпечення на нафтохімічному заводі компанії Saudi Aramco, могло призвести до викиду токсичного сірководню або спричинити вибухи. Це поставило б під загрозу життя працівників як у приміщенні, так і на прилеглий території.

Таблиця 2 – Кібератаки на інфраструктуру нафтогазового сектору

Об'єкт атаки	Ініціатор (засіб) атаки	Наслідки атаки
Американська трубопровідна система оператора Colonial Pipeline (США)	Хакерська група Darkside	Припинення діяльності транснаціонального трубопроводу довжиною 5500 км
Нафтохімічний завод компанії Saudi Aramco (Саудівська Аравія)	Програма Triton невизначеного походження	Зупинка виробничих систем заводу
Компанія Chevron Corporation (США)	Програмне забезпечення-вимагач Ekans	Імовірний несанкціонований доступ до систем через програмне забезпечення VPN
Компанія ExxonMobil (США)	Програма-вимагач Ryuk	Збої в роботі систем нафтопереробки та збуту продукції
Компанія Petrobras (Бразилія)	Програма-вимагач Wanna Cry	Неконтрольований витік інформації про діяльність компанії

Кібератака була спрямована на контролери системи управління Triconex Safety Systems виробництва корпорації Schneider Electric (Франція). На щастя, помилка в комп'ютерному коді зловмисника призвела до зупинки виробничих систем заводу до того, як це могло завдати значної шкоди операційним активам та інфраструктурі.

Корпорація Chevron стала жертвою кібератаки, націленої на промислові системи управління і операційні технології у 2020 році. Вважається, що зловмисники отримали доступ до інформаційних систем компанії, використовуючи вразливість у програмному забезпеченні VPN. Засобом кібератаки імовірно було програмне забезпечення Ekans.

Атака на інфраструктуру компанії Exxon Mobil з використанням програми-вимагача Ryuk, яка шифрує файли на комп'ютері жертви, роблячи їх недоступними, призвела до значних збоїв в роботі. Зловмисники вимагали викуп у розмірі 1,6 мільйона доларів США в біткойнах. Це, зокрема, вплинуло на перехідний бізнес компанії, який включає переробку, хімічне виробництво та дистрибуцію нафтопродуктів.

Під час атаки програми-вимагача Wanna Cry, на інформаційну систему державної бразильської нафтової компанії Petrobras вона вимушена була вимкнути свої комп'ютери як запобіжний захід у відповідь на загрозу витоку інформації. Аналогічні заходи були прийняті також Міністерством закордонних справ Бразилії та системою соціального забезпечення країни. Одночасно з компанією Petrobras програма Wanna Cry вразила щонайменше 100 000 організацій у 150 країнах.

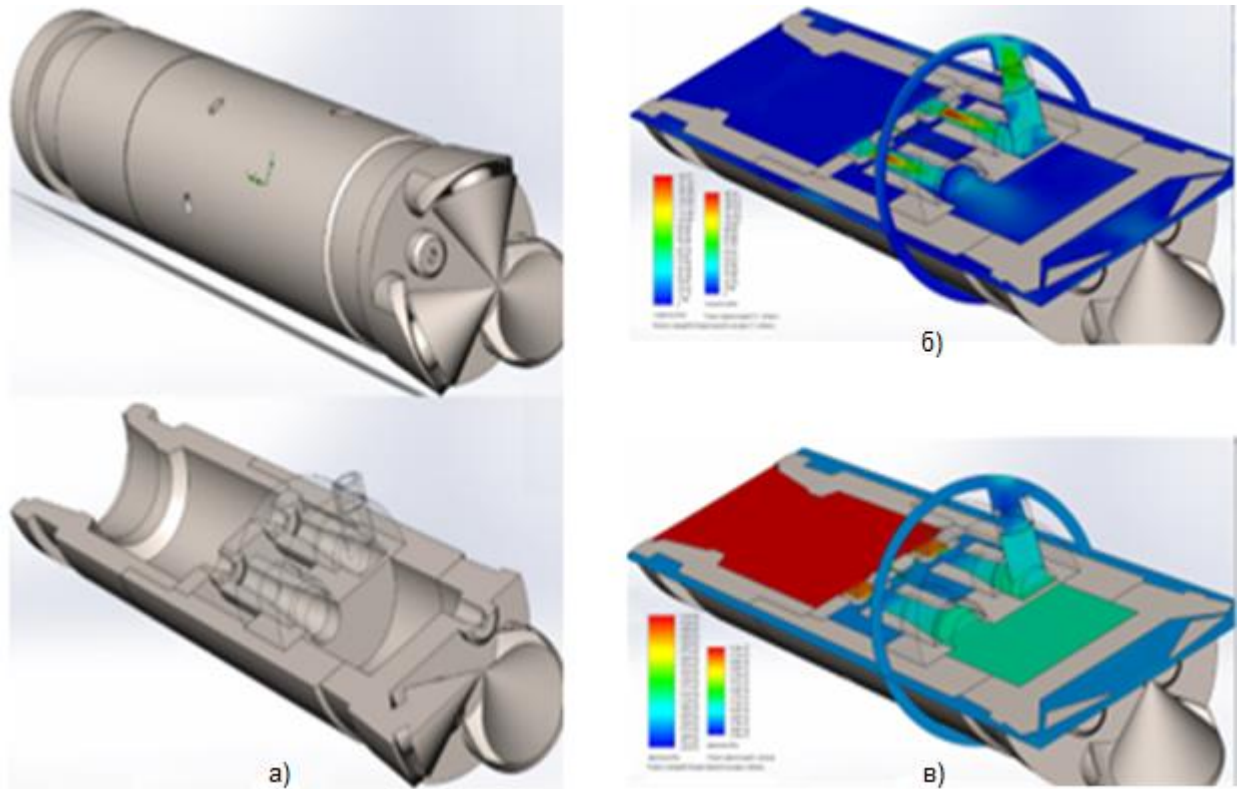
Сформулюємо особливості реалізації загроз несанкціонованого втручання в інформаційну систему нафтогазового комплексу:

- застосування кібератак на цифрову інфраструктуру енергетичного сектору для політичного тиску на уряди та суспільство;
- глобальний вплив на світову економіку та національну інфраструктуру окремих країн;
- катастрофічні наслідки для екологічної безпеки та здоров'я людей;
- стійкі низькі ціни на нафту спонукають до подальшої цифровізації процесів в нафтовій і газовій промисловості підвищуючи кібернебезпеку.

Жодний сектор нафтогазової промисловості не захищений від кіберзагроз. Вразливість об'єктів нафтогазової галузі, зумовлена несанкціонованим доступом до її цифрових мереж, підсилюється дією наступних факторів:

- зважаючи на високий рівень комп'ютеризації технологічних операцій розробки родовищ вуглеводнів, помилки у функціонуванні електронних комунікацій можуть викликати часткову або повну зупинку виробничих процесів;
- окремі виробництва процеси буріння та експлуатації свердловин мають неперервний характер;
- неперервне зростання обсягів інформаційних потоків посилює залежність складових паливно-енергетичного комплексу від незаконного втручання;
- нафтогазові об'єкти, зазвичай, знаходяться у віддалених і важкодоступних районах та можуть займати значні за площею території;
- значна кількість технологічних операцій розробки родовищ вуглеводнів вирізняється незначним періодом часу між втратою контро-





*а) геометрична модель; б) діаграма розподілу швидкостей; в) діаграма розподілу тисків*  
**Рисунок 2 – Моделювання робочого процесу вихро-ежекційної наддолотної компоновки з використанням програми Solidworks Flow Simulation**

лю над виробничим процесом та настанням негативних наслідків, які у багатьох випадках мають незворотний характер.

Отже, особливості здійснення виробничих процесів в нафтогазовій галузі вимагають високого рівня захисту інформаційних потоків і, зокрема, застосування блокчейн-технології, яка є основою використання криптовалют та інших цифрових активів. Блокчейн дозволяє використовувати для контролю доступу до інформації біологічні ідентифікатори, а також реалізує фрагментацію та зберігання даних на декількох сайтах, замість їх концентрації в одному місці. Витік даних стане практично неможливим, оскільки злам блокчейну вимагатиме дуже великих потужностей.

Проаналізуємо області використання імітаційних симуляторів, які є складовими елементами четвертої промислової революції та спеціально створених прикладних програм для автоматизації процесів проектування конструкцій і режимів експлуатації нафтогазового обладнання.

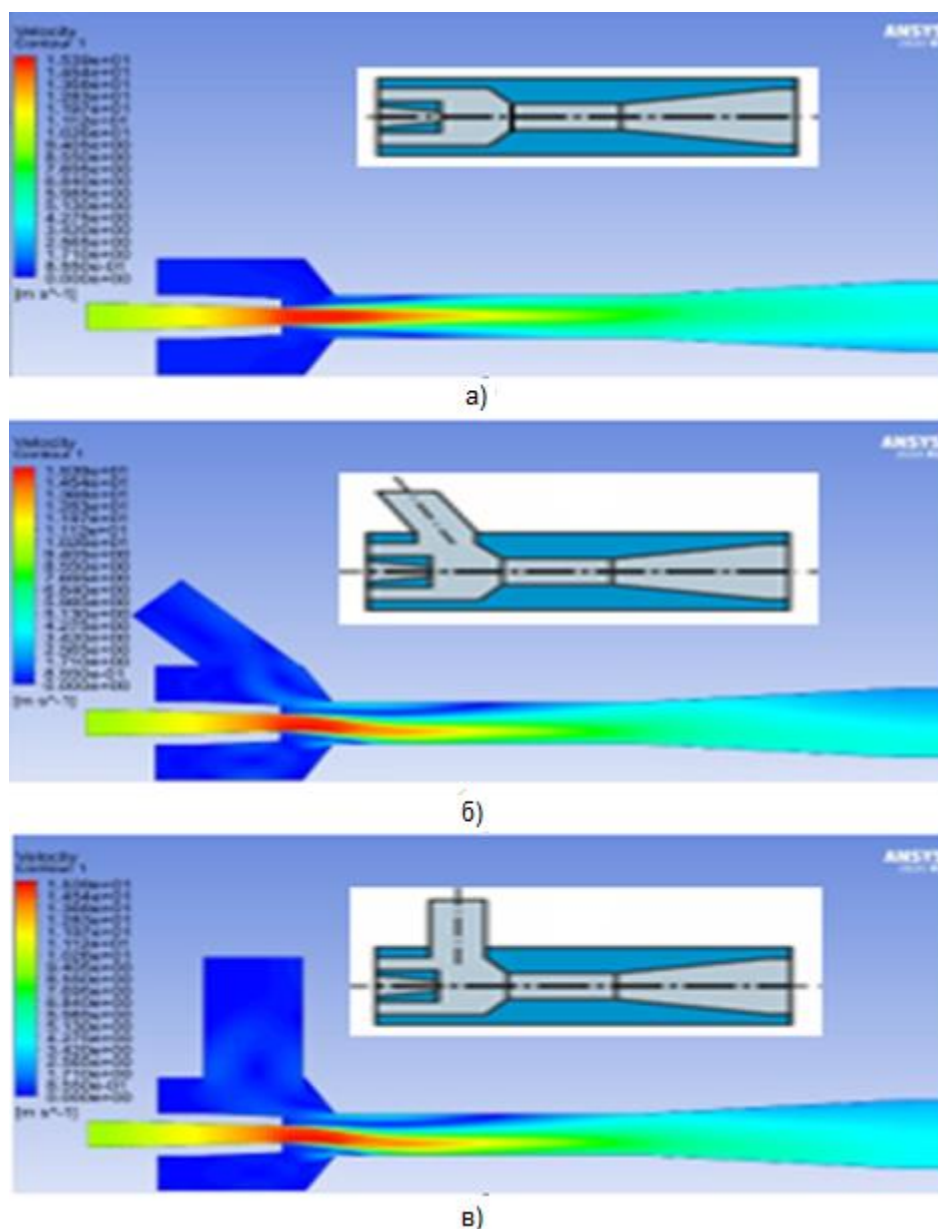
Додатки SolidWorks використовують попередньо створену геометричну модель для формування розрахункової моделі. Теоретичною основою додатків SolidWorks є метод скінченних елементів. Фізичні процеси, які характери-

зують напружено-деформований стан твердих тіл, рух та теплообмін газорідного середовища. моделюються використанням рівнянь теорії пружності та гідрогазодинаміки (зокрема рівнянь Нав'є-Стокса). Програма дозволяє моделювати робочий процес конструкцій нафтогазового обладнання значної складності (рис. 2).

Перевагою використання даної програми є можливість моделювання гідромеханічних зв'язків елементів нафтогазового обладнання без необхідності залучення попередньо створеного математичного опису його робочого процесу. У випадку дослідження впливу конструкторських та експлуатаційних факторів (кількість яких може складати тисячі та десятки тисяч) на характеристики нафтогазового обладнання кожна одинична зміна конфігурації його елементів або параметрів експлуатації вимагає уточнення геометричної та сіткової моделі і граничних умов її використання.

Програма SolidWorks є однією з найбільш поширених в навчальних закладах, що пов'язано з низькою вартістю ліцензії на стандартну версію та наданням безкоштовних навчальних версій.

Програма Ansys Workbench у порівнянні з SolidWorks забезпечує більш якісну побудову сіткової моделі, яка значною мірою визначає



а) паралельна орієнтація змішуваних потоків; б) вхід ежектованого потоку під гострим кутом; в) перпендикулярна орієнтація змішуваних потоків

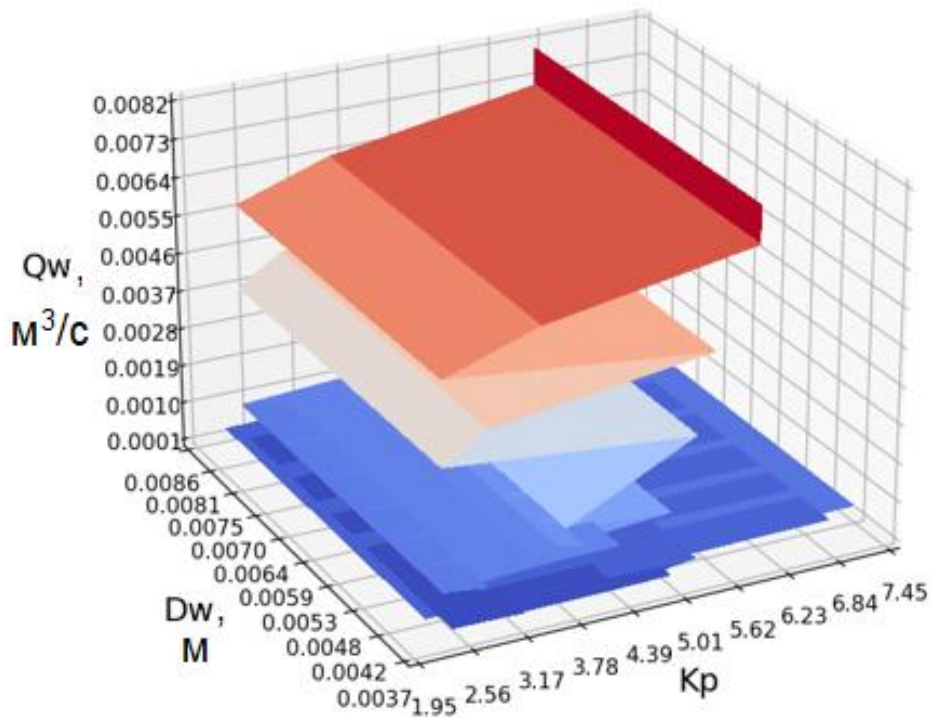
**Рисунок 3 – Дослідження впливу взаємної орієнтації змішуваних потоків на характер розподілу швидкостей в проточній частині свердловинного струминного насоса з використанням програмного комплексу ANSYS**

точність розрахунків (рис. 3) [28]. Програма SolidWorks, однак, має переваги при формуванні геометричних моделей та побудові креслень деталей та вузлів нафтогазового обладнання. Обидві програми засновані на використанні для розв'язку алгоритмів методу скінченних елементів, що визначає подібність логіки реалізації розрахункових процедур. Програма Ansys Workbench підтримує більшу кількість систем вимірів та підтримуваних форматів файлів, що застосовуються в програмному середовищі. Зважаючи на особливості застосування даних продуктів програму SolidWorks

більш ефективно застосовувати при реалізації інженерних розрахунків, а програму Ansys Workbench – для проведення наукових досліджень.

Комплекс програмних продуктів Ansys Workbench може бути об'єднаний з програмою SolidWorks в єдине розрахунково-проектувальне середовище. Побудова геометричних моделей при цьому може здійснюватись у середовищі SolidWorks, а скінченно-елементні розрахунки – в програмі ANSYS.

За необхідності використання об'ємних масивів вихідних даних, що створюють значну



$Q_w$  – витрата робочого потоку;  $D_w$  – діаметр робочої насадки;  
 $K_p$  – співвідношення площ перерізів камери змішування та робочої насадки

**Рисунок 4 – Графічна 3D залежність робочої витрати від діаметра робочої насадки та значення основного геометричного параметра струминного насоса**

кількість можливих комбінацій, кожна з яких потребує виконання окремих розрахункових операцій, доцільно застосовувати спеціальні прикладні програми. Для створення таких програм, зазвичай, застосовують високорівневі мови програмування. Найбільш ефективним є використання таких програм в задачах оптимізації робочого процесу нафтогазового обладнання на основі вибору оптимальних співвідношень конструкторських та режимних параметрів нафтогазових машин.

Наприклад, алгоритм автоматизованого проєктування конструкції свердловинного нафтового струминного насоса у вигляді чотирьох послідовних структурних елементів, об'єднаних спільним критеріальним параметром оптимізації забезпечує максимальну енергетичну ефективність експлуатації ежекційної системи (рис. 4).

Для визначення максимальних значень коефіцієнта корисної дії струминного насоса використано стандартизовані типорозмірні ряди геометричних розмірів елементів проточної частини свердловинного струминного насоса та конструкцій наземних насосних агрегатів, розроблені провідною в галузі застосування нафтогазових ежекційних технологій компанією Kobe (США).

Подальшому поширенню цифрових технологій сприятиме удосконалення освітніх програм підготовки фахівців нафтогазового профілю. Ще декілька десятиліть тому нафтогазові компанії намагались залучити до своїх структурних підрозділів фахівців з інформаційно-комунікаційних технологій. Сьогодні пріоритет надається спеціалістам нафтогазового профілю, які у своїй професійній діяльності на додаток до основної спеціальності володіють навичками реалізації цифрових технологій. Дисципліни з основ цифрових технологій для нафтогазових спеціальностей, які входять до складу циклу дисциплін професійної підготовки обов'язкової частини навчального плану, повинні забезпечуватись профільними випусковими кафедрами. Володіння основами цифрового інжинірингу підвищує конкурентоспроможність молодих фахівців на світовому ринку праці та підвищує їхні шанси на швидке кар'єрне зростання.

В Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу студентами нафтогазових спеціальностей другого рівня вищої освіти обрана дисципліна «Основи нафтогазового інжинірингу нафтогазового обладнання», яка входить до переліку вибіркових дисциплін загальноуніверситетського каталогу та спрямована на вивчення базових технологій

поводження з інформаційними потоками при реалізації виробничих процесів нафтогазового комплексу.

Збільшення частки використання цифрових технологій в освітньому процесі може бути досягнуто відмовою від паперового документообігу, легалізацією електронного підпису, виключенням дублювання інформації в окремих документах, автоматичним імпортом інформації у документи більш високого рівня починаючи від первинних облікових карток і завершуючи додатками до дипломів, автоматичним формуванням документів за наперед затвердженою структурою, наданням можливості віддаленого керування виконавчими органами навчальних лабораторних установок [29], впровадженням дистанційного оцінювання знань здобувачів освіти з фіксованим часом контролю та автоматичним представленням результатів, спрощенням доступу здобувачів освіти до електронного методичного забезпечення дисциплін та інше.

### Висновки

Цифровізація технологічних операцій нафтогазової галузі дозволяє оптимізувати режими буріння, експлуатації та технічного обслуговування свердловин, інтенсифікувати процеси впливу на продуктивний горизонт, підвищити ефективність реалізації методів вторинного нафтогазовидобутку та удосконалити логістичні зв'язки між елементами паливно-енергетичного комплексу. Домінуючий вплив на ефективність процесів розробки нафтогазових родовищ мають технології великих даних.

Несанкціоноване втручання в інформаційне поле нафтогазової галузі становить глобальний вплив на світову економіку, навколишнє середовище і суспільство та має тенденцію до посилення. Зростання обсягів застосування інформаційних технологій повинне супроводжуватись підвищенням цифрової безпеки виробничих процесів. Суттєве зниження рівня вразливості об'єктів нафтогазового комплексу до кіберзагроз може бути досягнуто шляхом зростання обсягів комплексного застосування блокчейн-технології для забезпечення захищеного електронного супроводу процедур дистанційного обміну і зберігання даних в процесах розвідки, буріння, експлуатації свердловин та реалізації операцій нафтогазопромислової логістики.

Переваги застосування імітаційних програм-симуляторів найбільш повно реалізуються у випадку, коли відсутній математичний опис робочого процесу нафтогазової машини, а кіль-

кість розрахункових операцій є незначною. Занаявності розрахункового алгоритму та необхідності залучення численних масивів вихідних даних, аналіз яких передбачає виконання значної кількості розрахункових процедур, необхідно надавати перевагу спеціально створеним прикладним програмам вузько спрямованого призначення.

### Література

1. Global Digital Transformation Market (2022 to 2030) – Size. Report. Fortune Business Insights. April 24, 2023. (Accessed 03 July 2023). Retrieved from: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/04/24/2652506/0/en/Digital-Transformation-Market-Size-to-Surpass-USD-8-92-trillion-by-2030-Exhibiting-a-CAGR-of-21-6.html>.

2. Handscomb C., Sharabura S., Woxholth J. The oil and gas organization of the future // McKinsey & Co. Report. September 2016. (Accessed 03 July 2023). Retrieved from: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-oil-and-gas-organization-of-the-future>.

3. Wanasinghe T. R., Wroblewski L., Petersen B. K., Gosine R. G., James L. A., Silva O. D., Mann G. K. I., Warrion P. J. Digital Twin for the Oil and Gas Industry: Overview, Research Trends, Opportunities, and Challenges. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 104175–104197. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998723>.

4. Lu H., Guo L., Azimi M., Huang K. Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook. *Computers in Industry*. 2019. Vol. 111. P. 68–90. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.007>.

5. Mohammadpoor M., Torabi F. Big Data analytics in oil and gas industry: an emerging trend. *Petroleum*. 2020. Vol. 6. Iss. 4. P. 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.11.001>.

6. Gezdur A., Bhattacharjya J. Digitization in the Oil and Gas Industry: Challenges and Opportunities for Supply Chain Partners. *Proceeding of Working Conference on Virtual Enterprises*, Sydney, Australia, August 2017. 9 p. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-65151-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-65151-4_9).

7. Haouel C., Nemeslak A. Digital Transformation in Oil and Gas Industry. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*. Published online: 06 March 2023. 16 p. <https://doi.org/10.3311/PPso.20830>.

8. Rezafar E. The Implementation of Advanced Digitalization in the Oil and Gas Industry: doctoral qualification work: specialty – Business Administration/head S. Subocz. Walden: Walden

University (USA), 2022. 128 p. Retrieved from: <https://www.proquest.com/openview/b7c7adb1a75b9e18e638e13a1c50af9a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>.

9. Jian Su J., Yao S., Liu H. Data Governance Facilitate Digital Transformation of Oil and Gas Industry. *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. Article 861091. 11 p. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.861091>.

10. Кочкодан В. Б. Доцільність упровадження технологій інтелектуальних нафтогазових родовищ на підприємствах НГК України. *Причорноморські економічні студії*. 2018. № 28-2. С. 169–173. [http://bses.in.ua/journals/2018/28\\_2\\_2018/36.pdf](http://bses.in.ua/journals/2018/28_2_2018/36.pdf).

11. Кочкодан В. Б. Технологічні можливості та переваги інтелектуальних нафтогазових родовищ. *Інфраструктура ринку*. 2019. № 31. С. 799–807. [http://www.market-infr.od.ua/journals/2019/31\\_2019\\_ukr/123.pdf](http://www.market-infr.od.ua/journals/2019/31_2019_ukr/123.pdf).

12. Panevnyk D., Krehel R. Investigation of the characteristics of an oil jet pump when using a group ground drive. *Journal of Engineering Research*. 2023. Vol.11. Issue 1. March 2023, 100004. 6 p. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100004>.

13. Цифровізація для нафтогазових компаній: ефективні рішення від Київстар. ПрАТ «Київстар»: Kyivstar business hub. 25.11.2021. <https://hub.kyivstar.ua/news/czyfrovizacziya-dlya-naftogazovyh-kompanij-efektyvni-rishennya-vid-kyivstar/>.

14. Azzedin F., Ghaleb M. Towards an Architecture for Handling Big Data in Oil and Gas Industries: Service-Oriented Approach. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2019. Vol. 10. Iss. 2. P. 554–562. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100269>

15. Rios O. C. Robotic drilling system improves efficiency, safety, quality (Siemens AG). *Offshore Magazine. Drilling & Completion*. 07.03.2018. 7 p. (Accessed 15 July 2023). Retrieved from: <https://www.offshore-mag.com/drilling-completion/article/16762142/robotic-drilling-system-improves-efficiency-safety-quality>.

16. Al-Neaim S. A. Launching new application for improved reservoir management. 19.04.2017. (Accessed 15 July 2023). Retrieved from: <https://www.saudiaramco.com/en/news-media/news/2017/new-application-improved-reservoir-management>.

17. Brancaccio E. Big Data in Oil and Gas Industry. *Oil and Gas Portal*. November 2020. 16 p. (Accessed 15 July 2023). Retrieved from:

<https://www.oil-gasportal.com/wp-content/uploads/2020/11/Big-Data-in-Oil-and-Gas-Industry-siportale.pdf>.

18. Cheng H., Liu Z., Cai F., Zhang L., Ma X., Sun X., Hu J., Wang P. AR technology in the design of oil and gas field surface engineering: Applications and prospects. *Wearable Technology*. 2022. Vol.3. Iss. 2. P. 23–31. <https://doi.org/10.54517/wt.v3i2.1641>.

19. Faulkner E. Enverus: U.S. Daily Rig Count. Snowflake Marketplace. 3 p. (Accessed 16 July 2023). Retrieved from: <https://www.enverus.com/dailyrigcount/>.

20. Duffy W., Rigg J., Maida E. Efficiency Improvement in the Bakken Realized through Drilling Data Processing Automation and the Recognition and Standardization of Best Safe Practices. *Proceeding of SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition*, Hague, Netherlands, 14–16 March 2017. Paper Number: SPE-184724-MS. P. 477–488. <https://doi.org/10.2118/184724-MS>.

21. Sikanyika E. W., Wu Z., Mbarouk M. S., Mafimba A. M., Elbaloula H. A., Jiang S. Numerical Simulation of the Oil Production Performance of Different Well Patterns with Water Injection. *Energies*. 2023. Vol. 16. Iss. 1. 19 p. <https://doi.org/10.3390/en16010091>.

22. Lu H., Huang K., Azimi M., Guo L. Blockchain Technology in the Oil and Gas Industry: A Review of Applications, Opportunities, Challenges, and Risks. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. Iss. 2. P. 41426–41444. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907695>.

23. Salama D., Mohammed T., Alenezi M. Building Smart Oil and Gas field Using IOT. *International Journal of Advancements in Computing Technology*. 2017. Vol. 9. No 3. P. 43–56. <https://www.researchgate.net/publication/324877908>.

24. Concina F., Michelez J., Rossi N. Technology Update: Big Data for Advanced Well Engineering Holds Strong Potential To Optimize Drilling Costs. *Journal of Petroleum Technology*. 2018. Vol. 70. Iss. 02. Paper Number: SPE-0218-0018-JPT. P. 18–21. <https://doi.org/10.2118/0218-0018-JPT>.

25. Wu W., Lu X., Cox B., Li G., Lin L., Yang Q. Retrieving Information and Discovering Knowledge from Unstructured Data Using Big Data Mining Technique: Heavy Oil Fields Example. *Proceeding of International Petroleum Technology Conference*, Malaysia, 10–12 December 2014. Paper Number: IPTC-17805-MS. 9 p. <https://doi.org/10.2523/IPTC-17805-MS>.

26. Mittal A., Slaughter A., Zonneveld P. Protecting the connected barrels. Cybersecurity for upstream oil and gas: a report by Deloitte Center for Energy Solutions. *Deloitte University Press*. Published Date: 26 June 2017. 24 p. (Accessed 01 August 2023). Retrieved from: <https://www2.deloitte.com/za/en/insights/industry/oil-and-gas/cybersecurity-in-oil-and-gas-upstream-sector.html>.
27. Davis D. 5 Big Cyberattacks in Oil and Gas. *Oil & Gas IQ*. Published Date: 11 January 2022. (Accessed 03 August 2023). Retrieved from: <https://www.oilandgasiq.com/digital-transformation/articles/5-big-cyber-security-attacks-in-oil-and-gas>.
28. Паневник Д. А. Повышение энергетической эффективности использования нефтяных струйных насосов. *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2022. Т. 65. № 2. С. 181–192. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-2-1-92>.
29. Паневник Д. О. Підвищення ефективності дистанційної форми проведення лабораторних занять з контролю і управління в технічних системах. *Методи та прилади контролю якості*. 2021. № 2 (47). С. 62–71. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2021-2\(47\)-62-71](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2021-2(47)-62-71).
5. Mohammadpoor M., Torabi F. Big Data analytics in oil and gas industry: an emerging trend. *Petroleum*. 2020. Vol. 6. Iss. 4. P. 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.11.001>.
6. Gezdur A., Bhattacharjya J. Digitization in the Oil and Gas Industry: Challenges and Opportunities for Supply Chain Partners. *Proceeding of Working Conference on Virtual Enterprises*, Sydney, Australia, August 2017. 9 p. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-65151-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-65151-4_9).
7. Haouel C., Nemeslak A. Digital Transformation in Oil and Gas Industry. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*. Published online: 06 March 2023. 16 p. <https://doi.org/10.3311/PPso.20830>.
8. Rezafar E. The Implementation of Advanced Digitalization in the Oil and Gas Industry: doctoral qualification work: specialty – Business Administration/head S. Subocz. Walden: Walden University (USA), 2022. 128 p. Retrieved from: <https://www.proquest.com/openview/b7c7adb1a75b9e18e638e13a1c50af9a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>.
9. Jian Su J., Yao S., Liu H. Data Governance Facilitate Digital Transformation of Oil and Gas Industry. *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. Article 861091. 11 p. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.861091>.
10. Kochkodan V. B. Dotsilnist uprova-dzhennia tekhnolohii intelektualnykh naftohazovykh rodovyshch na pidpriemstvakh NHK Ukrainy. *Prychornomorski ekonomichni studii*. 2018. No 28-2. P. 169–173. [http://bses.in.ua/journals/2018/28\\_2\\_2018/36.pdf](http://bses.in.ua/journals/2018/28_2_2018/36.pdf). [in Ukrainian]
11. Kochkodan V. B. Tekhnolohichni mozhyvosti ta perevahy intelektualnykh naftohazovykh rodovyshch. *Infrastruktura rynku*. 2019. No 31. P. 799–807. [http://www.market-infr.od.ua/journals/2019/31\\_2019\\_ukr/123.pdf](http://www.market-infr.od.ua/journals/2019/31_2019_ukr/123.pdf). [in Ukrainian]
12. Panevnyk D., Krehel' R. Investigation of the characteristics of an oil jet pump when using a group ground drive. *Journal of Engineering Research*. 2023. Vol.11. Issue 1. March 2023, 100004. 6 p. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100004>.
13. Tsyfrovizatsiia dlia naftohazovykh kompanii: efektyvni rishennia vid Kyivstar. PrAT «Kyivstar»: Kyivstar business hub. 25.11.2021. <https://hub.kyivstar.ua/news/cyfrovizacziya-dlya-naftogazovyh-kompanij-efektyvni-rishennya-vid-kyivstar/>. [in Ukrainian]
14. Azzedin F., Ghaleb M. Towards an Architecture for Handling Big Data in Oil and Gas Industries: Service-Oriented Approach. *International Journal of Advanced Computer Science and*

*Applications*. 2019. Vol. 10. Iss. 2. P. 554–562. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100269>

15. Rios O.C. Robotic drilling system improves efficiency, safety, quality (Siemens AG). *Offshore Magazine. Drilling & Completion*. 07.03.2018. 7 p. (Accessed 15 July 2023). Retrieved from: <https://www.offshore-mag.com/drilling-completion/article/16762142/robotic-drilling-system-improves-efficiency-safety-quality>.

16. Al-Neaim S. A. Launching new application for improved reservoir management. 19.04.2017. (Accessed 15 July 2023). Retrieved from: <https://www.saudiaramco.com/en/news-media/news/2017/new-application-improved-reservoir-management>.

17. Brancaccio E. Big Data in Oil and Gas Industry. *Oil and Gas Portal*. November 2020. 16 p. (Accessed 15 July 2023). Retrieved from: <https://www.oil-gasportal.com/wp-content/uploads/2020/11/Big-Data-in-Oil-and-Gas-Industry-siportale.pdf>.

18. Cheng H., Liu Z., Cai F., Zhang L., Ma X., Sun X., Hu J., Wang P. AR technology in the design of oil and gas field surface engineering: Applications and prospects. *Wearable Technology*. 2022. Vol.3. Iss. 2. P. 23–31. <https://doi.org/10.54517/wt.v3i2.1641>.

19. Faulkner E. Enverus: U.S. Daily Rig Count. Snowflake Marketplace. 3 p. (Accessed 16 July 2023). Retrieved from: <https://www.enverus.com/dailyrigcount/>.

20. Duffy W., Rigg J., Maidla E. Efficiency Improvement in the Bakken Realized through Drilling Data Processing Automation and the Recognition and Standardization of Best Safe Practices. *Proceeding of SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition*, Hague, Netherlands, 14–16 March 2017. Paper Number: SPE-184724-MS. P. 477–488. <https://doi.org/10.2118/184724-MS>.

21. Sikanyika E. W., Wu Z., Mbarouk M. S., Mafimba A. M., Elbaloula H. A., Jiang S. Numerical Simulation of the Oil Production Performance of Different Well Patterns with Water Injection. *Energies*. 2023. Vol. 16. Iss. 1. 19 p. <https://doi.org/10.3390/en16010091>.

22. Lu H., Huang K., Azimi M., Guo L. Blockchain Technology in the Oil and Gas Industry: A Review of Applications, Opportunities, Challenges, and Risks. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. Iss. 2. P. 41426–41444. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907695>.

23. Salama D., Mohammed T., Alenezi M. Building Smart Oil and Gas field Using IOT. *International Journal of Advancements in Computing Technology*. 2017. Vol. 9. No 3. P. 43–56. <https://www.researchgate.net/publication/324877908>.

24. Concina F., Michelez J., Rossi N. Technology Update: Big Data for Advanced Well Engineering Holds Strong Potential To Optimize Drilling Costs. *Journal of Petroleum Technology*. 2018. Vol. 70. Issue 02. Paper Number: SPE-0218-0018-JPT. P. 18–21. <https://doi.org/10.2118/0218-0018-JPT>.

25. Wu W., Lu X., Cox B., Li G., Lin L., Yang Q. Retrieving Information and Discovering Knowledge from Unstructured Data Using Big Data Mining Technique: Heavy Oil Fields Example. *Proceeding of International Petroleum Technology Conference*, Malaysia, 10–12 December 2014. Paper Number: IPTC-17805-MS. 9 p. <https://doi.org/10.2523/IPTC-17805-MS>.

26. Mittal A., Slaughter A., Zonneveld P. Protecting the connected barrels. Cybersecurity for upstream oil and gas: a report by Deloitte Center for Energy Solutions. *Deloitte University Press*. Published Date: 26 June 2017. 24 p. (Accessed 01 August 2023). Retrieved from: <https://www2.deloitte.com/za/en/insights/industry/oil-and-gas/cybersecurity-in-oil-and-gas-upstream-sector.html>.

27. Davis D. 5 Big Cyberattacks in Oil and Gas. Oil & Gas IQ. Published Date: 11 January 2022. (Accessed 03 August 2023). Retrieved from: <https://www.oilandgasiq.com/digital-transformation/articles/5-big-cyber-security-attacks-in-oil-and-gas>.

28. Panevnik D. A. Povyshenie energeticheskoi effektivnosti ispolzovaniia neftiannykh struinykh nasosov. *Energetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedenii i energ. obiedinenii SNG*. 2022. T. 65. No 2. P. 181–192. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-2-1-92>. [in Ukrainian]

29. Panevnyk D. O. Pidvyshchennia efektyvnosti dystantsiinoi formy provedennia laboratornykh zaniat z kontroliu i upravlinnia v tekhnichnykh systemakh. *Metody ta pryklady kontroliu yakosti*. 2021. No 2 (47). P. 62–71. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2021-2\(47\)-62-71](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2021-2(47)-62-71). [in Ukrainian]