

Інформаційні технології

УДК 004.896:622.24

DOI: 10.31471/1993-9973-2018-4(69)-77-85

КЕЙС-БАЗОВАНІ МІРКУВАННЯ ТА СПЕЦИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ ОБМЕЖЕНЬ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОГЛИБЛЕННЯМ СВЕРДЛОВИН

М.С. Чесановський

ІФНТУНГ; вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019,
e-mail: nick.chesanovsky@gmail.com

Виділено засоби реалізації реальних методологій контролю свердловин в формі процесу інтерактивної взаємодії експерта технологічного процесу із засобами процесу адаптації та модифікації з метою отримання необхідних знань для використання коректної адаптації в формі модифікації ключової підстановки ініціалізованих значень параметрів. Оскільки час відповіді на коригуючу дію в стовбурі свердловини у випадку нештатної ситуації є ключовим чинником ефективного контролю свердловини, то використання інтелектуальних систем керування буріння є високоактуальною задачею для запобігання можливим нештатним ситуаціям та важливим чинником щодо підвищення якості, ефективності та безпеки бурових операцій.

Ключові слова: буріння, контрольовані технологічні параметри, системи на основі знань, рішення проблеми, розмірковування, навчання на основі експертного досвіду в формі прецедентів.

Выделены средства реализации реальных методологий контроля скважин в виде процесса интерактивного взаимодействия эксперта технологического процесса со средствами процесса адаптации и модификации с целью получения необходимых знаний для использования корректной адаптации в форме модификации ключевой подстановки инициализированных значений параметров. Так как время ответа на корректирующее действие в стволе скважины при нештатной ситуации является ключевым фактором эффективного контроля скважины, то использование интеллектуальных систем управления бурения является высокоактуальной задачей для предотвращения возможных нештатных ситуаций и важным фактором в повышении качества, эффективности и безопасности буровых операций.

Ключевые слова: бурение, контролируемые технологические параметры, системы на основе знаний, решение проблемы, рассуждения, обучение на основе экспертного опыта в форме прецедентов.

The means of really applicable methodologies of well control are outlined in the form of the interaction of the technological process expert with the means of the adaptation and modification process in order to obtain the necessary knowledge for the use, in fact, correct adaptation in the key substitutions modification form of the initialized parameter's values. Since the response time for the correction action in the wellbore in the case of emergency is a key factor in the effective control of the well in general, the use of intelligent drilling systems is a high-priority task to prevent possible extraordinary situations on the whole and an important factor in improving quality, efficiency and safety of drilling rigs operations.

Keywords: drilling, controlled technological parameters, knowledge management systems, problem solving, reasoning, expert training based on experience in the form of precedents.

Вступ

Особливість спорудження свердловин на нафту і газ полягає у відсутності достовірної інформації про гірничо-геологічні особливості розрізу, неоднозначності, нелінійності та багатоплановості процесів і рішень і передбачає задіяння до технологічних процесів широкого спектру фахівців, сервісних компаній, контролерів тощо. Серед пріоритетних завдань, насамперед, слід виокремити необхідність забезпечення надійності свердловини як інженерної споруди, мінімізацію технологічних і екологічних ризиків та забезпечення окупності робіт. Це вимагає мінімізації впливу суб'єктивних чинників, а також оперативного отримання та аналізу великого масиву максимально достовірної інформації. Зокрема сучасні телеметричні системи забезпечують надання геолого-технологічної інформації безпосередньо з вибою. Як наслідок, значно підвищується загальна адаптивність та цілісність системи та час її реагування на динаміку процесів буріння.

Аналізуючи проблему, формуємо *мету роботи*, що в даному випадку полягає в виявленні можливості повторювальних помилок встановлення релевантних значень технологічних параметрів, відставання в процесі прийняття рішення, технологічних помилок через втому або стрес персоналу під час виконання регламентних операцій. Використання сучасних систем контролю сприяє зменшенню ризиків виникнення аварій і ускладнень. Таким чином, існує насправді актуальна проблема застосування сучасних інтелектуальних систем для досягнення більшої ефективності та безпеки бурових робіт.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Фахівцями проаналізовано основні підходи до автоматизації процесу буріння свердловин на нафту і газ з метою виділення контекстів задач підтримки прийняття рішень щодо вибору відповідних релевантних значень контрольованих параметрів [1-5]. Питання побудови таких систем поєднує проблеми комп'ютеризованого контролю для отримання інтелектуальної системи з контрольованими параметрами, що відповідає гірничо-геологічним та техніко-технологічним особливостям спорудження свердловини, що дає змогу ефективно поєднувати можливості операторів-буровиків та віддалених центрів корпоративного рівня [6-10]. Варіативність умов буріння робить надскладною задачу оптимізації бурових операцій для досягнення максимальної ефективності процесу

[11-13]. Відповідно, існує нагальна потреба в можливості оперативного вирішення оптимізаційних задач в польових умовах.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Варіативність та постійне ускладнення умов буріння свердловин на нафту і газ потребує розроблення методу для визначення *релевантного* співвідношення контрольованих параметрів для кожного окремого випадку заданих умов буріння при якомога менших інженерно-технічних затратах і наявному досвіді буріння, що може бути відповідно верифікований в польових умовах.

Формулювання цілей статті

Формулювання *цілей статті* зводиться до формального обґрунтування задачі пошуку збіжностей, що, по суті, є близьким до ідеології баз даних. Однак саме застосування CSP-методики додає *складності* даному процесу вже на рівні методологій штучного інтелекту. Це уможливило розвиток класичних задач збереження та видобування даних, де для досягнення задовільного рівня ефективності та якості процесу необхідне використання спеціального виду знань релевантності стосовно суті виконуваного процесу адаптації. Такий вид знань може бути видобутий із експертного досвіду і перекодований в кейс-базовані міркування системи у вигляді *правил та обмежень*.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

На сьогодні розроблено узагальнені математичні моделі майже для всіх процесів спорудження свердловин. Задача полягає у адаптації цих моделей до особливостей конкретної свердловини. Поєднання таких моделей із системою контролю забезпечать можливість створення сучасних інтелектуальних систем. Важливо, що параметри та алгоритми контролю процесів можуть бути пристосовані до особливостей будівництва кожної свердловини.

Середовища симуляції також можуть бути використані і для моделювання самого процесу, і для його тестування в безпечних та низько-вартісних умовах перед переходом до його імплементації в реальних умовах із надвисокою вартістю реалізації проектів. Такий симулятор зводиться з фактичною системою для доповнення відповідного інтерфейсу. Найпростішу модель такої симуляції виконуватиме бурова установка як система зв'язаних давачів, система контролю і апаратне забезпечення для збору

Таблиця 1 – Результати аналізу технологічних властивостей бурової промивальної рідини

ВЛАСТИВОСТІ БУРОВОГО РОЗЧИНУ				ДСТУ	Одиниці вимірювання	API	Одиниці вимірювання
Густина розчину				1550	кг/м ³	1,55	g/cm ³
Умовна в'язкість				43	с	-	Marsh, s
СНЗ (Gel)	10 с,			19,2	дПа	4	lb/100ft ²
	1 хв,			21,6	дПа	4,5	lb/100ft ²
	10 хв,			24	дПа	5	lb/100ft ²
Ефективна в'язкість (AV)				46	мПа*с	46	сP
Пластична в'язкість (PV)				37	мПа*с	37	сP
ДНЗ (УР)				86,4	дПа	15	lb/100ft ²
Фільтрація				-	см ³ /30хв	7,8	mL/30min
Товщина кірки				1,5	мм	1,5	mm
Коефіцієнт тертя кірки				-		-	
Вибійна фільтрація (НТНР)				-	см ³ /30хв	-	ml/30min
Вміст твердої фази				-	% об,	-	% byvol
Вміст піску				1	% об,	-	% byvol
Вміст колоїдної фази (МВТ)				-	% мас,	-	kg/m ³
Температура розчину				18	°C	18	Deg C
рН розчину				8,7		8,7	
Добова стабільність				-	г/см ³	-	g/cm ³
КУТИ ЗАКРУЧУВАННЯ ПРУЖИНИ ВІСКОЗИМЕТРА OFITE 800							
600	300	200	100	60	30	6	3(Gel)
92	55	42	27	20	14	6	4
ВЛАСТИВОСТІ ФІЛЬТРАТУ							
Густина				1,11		g/cm ³	
рН				8,5			
Карбонатна лужність (Pf/Mf)				-		мл/л	
Вміст СГ				-		мг/л	
Вміст Са ⁺⁺				-		мг/л	
Вміст Mg ⁺⁺				-		мг/л	
Вміст КСІ				-		%	
Загальна мінералізація				28(на 1л.р-ну 318г солі.)		%	

даних. Сам симулятор також повинен втілювати відповідне програмне забезпечення. Перспективним, насамперед, є задіяння таких підходів під час буріння свердловин із заданою траєкторією, з метою контролю стану стовбура свердловини, запобігання виникненню аварій і ускладнень, оцінювання властивостей бурових промивальних рідин.

Як приклад, у табл. 1 відображено параметри контролю бурової промивальної рідини під час спорудження свердловини на Західно-Соснівському родовищі Дніпрово-Донецької западини.

Слід мати на увазі, що процедури тестування, верифікації та класифікації механічних структур і систем на даний час вже є добре усталеними. Однак через зростання обсягу сфер

використання комп'ютер-базованих систем контролю відповідні процедури апаратного тестування та верифікації знаходяться на початкових етапах розвитку. Наявність процедур програмно-апаратного тестування є дуже бажаною, оскільки дає можливість суттєво скоротити кількість потенційних проблем та нештатних ситуацій, пов'язаних із програмним забезпеченням, що застосовується, суттєво зекономити час і кошти на усунення проблем самого програмного забезпечення, недосконалість якого може проявлятися вже у процесі експлуатації. Тому проблема розроблення моделей апаратно-програмного тестування для автоматизованих інтелектуальних систем процесів буріння є актуальною. Основні вимоги до проєктованого симулятора:

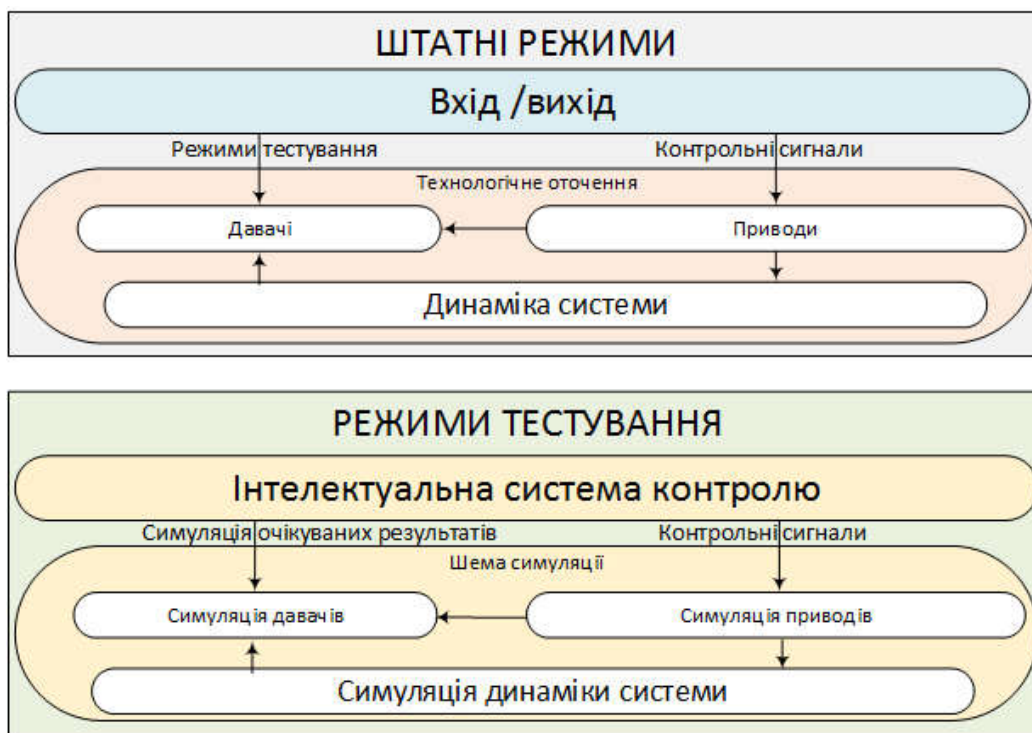


Рисунок 1 – Симуляція системного оточення

1) симулятор повинен оперативно охоплювати динаміку основних процесів будівництва свердловини;

2) параметри симуляції повинні бути легко налаштовуваними для реалізації всіх можливих сценаріїв розвитку ситуації на об'єкті і придатний для тестування системи контролю в різних станах та граничних умовах і рішеннях.

Тестування здійснюється шляхом створення замкненого простору, в якому комп'ютерна система контролю і, відповідно, операторна станція (робоче місце оператора) під'єднуються до симулятора реального часу. Таке віртуальне середовище повинно бути здатним симулювати реальне технологічне оточення таким чином, що система контролю може функціонувати цілком нормально, не помічаючи жодної якісної різниці, порівняно із під'єднанням до реальної системи промислового буріння. При такій конфігурації система контролю може бути протестована шляхом *симуляції* реальних операцій та функціональності, а також відтворити виникнення можливих нештатних ситуацій.

Таким чином, систему контролю слід розглядати як чорний ящик, для якого цілком не обов'язкове знання та розуміння внутрішньої суті функціонування, а також аналізу програмного коду, що лежить в основі. Особливо важливим є встановлення приватного діапазону тестування (області тестування), для чого необхідний функціональний опис системи контро-

лю. Крім того, необхідні детальні дані щодо контролю системи вводу-виводу і ґрунтовне розуміння того, що саме контролюється системою.

Все це є важливим для побудови технологічного і корисного симулятора, а також створення детальних інструкцій для оператора технологічної системи контролю, діаграми відповідних станів, листів даних із значеннями параметрів, інструкцій із забезпечення необхідної підтримки системи, списку надзвичайних та нештатних ситуацій та всіх доступних технологічних описів [14]. Тестування *на основі симулятора* є загалом ефективним інструментом для представлення всієї потужності і, відповідно, роботостійкості системи контролю та її програмного забезпечення. Такий вид тестування повною мірою забезпечує системність тестування таких важливих складових системи контролю, як загальний дизайн і філософія, функціональність, працездатність і придатність системи щодо вирішення нештатних ситуацій та проблем як в нормальному режимі, так і в умовах оперування, які не були передбачені початковим дизайном. Вона виконуються у *віртуальному режимі*, де не існує ризиків для персоналу та обладнання. Однак проєктовані зовнішні симуляційно-віртуальні засоби тестування не заміняють активності щодо внутрішніх засобів тестування. Обидва даних підходи є важливими для досягнення відповідного рівня

якості проєктованого програмного рішення і також досягнення відповідності стандартам критичної безпеки для систем контролю.

Симулятор використовує математичні моделі для відтворення технологічного оточення роботи системи контролю і відповідних пристроїв. Такі моделі можуть включати комплексні динамічні рівняння щоб відтворити якомога реалістичніше роботу давачів та приводів. При цьому комплектність моделей повинна бути достатньою, щоб уможливити достатньо реалістичну взаємодію з комп'ютерною системою контролю відповідно до вимог програми тестування на запит замовником. Симулятор оперує в реальному часі в замкненому контурі через комунікаційні лінки з комп'ютерною системою контролю та інтерфейсом користувача, а його основною метою є забезпечення реалістичних та ефективних тестів як з точки зору функціональності системи контролю, так і з точки зору інтеграції проєктованої автоматизованої системи в єдину цілісну архітектуру рішень. Тести ексклюзивно розроблені і сконфігуровані відповідно до вимог середовищ і обладнання з метою симуляції реальної предметної області і відтворюють умови для цільової системи контролю. Безперечними перевагами такого способу тестування є:

- тестування самого програмного забезпечення може здійснюватися під час проєктування, що робить можливим екстенсивне тестування задовго до настання продукційного дедлайну;

- тестування нештатних ситуацій та технологічних ситуацій, передбачених початковим дизайном, дозволяє зробити процес простішим, безпечнішим і, відповідно, дешевшим на поряток;

- можливість уникнення пошкоджень обладнання в умовах «реальних» спроб та помилок ;

- зменшення часу вирішення нештатних ситуацій в реальних умовах буріння завдяки наявності відповідно досконалих процедур тестування, що були виконані відповідно до попереднього етапу;

- можливість виконання тестування на точних копіях апаратного забезпечення в умовах лабораторії, коли фактичне апаратне забезпечення, що використовується в польових умовах, є недоступним. Також забезпечується інтеграція систем контролю від кількох виробників.

Розвиток технологій за принципом швидкого розроблення застосувань (RAD) накладає свій відбиток і на досліджувану проблему, що вимагає створення методологій для ефективно-

го дослідження простору рішень та відповідного вибору рішення із найменшою вартістю та найбільшою ефективністю, функціональністю і якістю застосування. Поставлена задача є багатofункціональною, тож комплектність проблеми є суттєвим бар'єром для її вирішення. Поява класу певних систем на основі знань дає можливість скористатися минулим досвідом для побудови нових ефективних рішень. Тому серед підходів менеджменту знань слід виділяти ефективність підходу КБМ (*кейс-базованих міркувань*) та CSP-ПО (інформаційно-пошукових задач на основі обмежень), (Constraints satisfaction problem – CSP) [15]. В КБМ-підході, знання зберігаються в базі кейсів CBase. Кожен кейс представляє відповідно опис деякої минулої проблеми TP^{src} і відповідного асоційованого її вирішення $TP^{src}.Sol \rightarrow Sol^{src}$. За характеристиками надійності та метричної відстані найбільш схожі кейси можуть бути видобуті з необхідною адаптацією при відповідній потребі, що буде розглядатися як відповідне рішення для нової проблеми $TP^{src}.Sol \rightarrow Sol^{src}$. Суть нової проблеми полягає у формуванні моделі знань через визначену кількість змінних (*параметрів технологічного процесу*):

$$Md(KB.TP) = \{\{V_1\}, \{V_2\}, \dots, \{V_n\}\}_{i,j,m},$$

тобто виражатимемо модель знань через вид представлення для бази знань. Базуючись на такій основі (змінні – параметри), можна також легко переходити від рівня даних до рівня знань, що вже є задачею концептуального рівня, яка початково може мати просте вирішення. Якщо розглядати базу даних як сукупність ініціалізованих параметрів, що спостерігаються (або контролюються відповідно) на вході і виході технологічного процесу TP^{in}, TP^{out} , її можна подати у вигляді виразу

$$\Delta B = \{p_1^{in} = v_i^1, \dots, p_{n1}^{in} = v_{n1}^1, p_1^{out} = v_i^2, \dots, p_{n2}^{out} = v_{n2}^2\}$$

для бази даних технологічного процесу $TP^{in} \cdot \Delta B$ та відповідно представлення через стрілку для бази знань

$$TP.KB = \left\{ \left\{ p_1^{in} = v_i^1, \dots, p_{n1}^{in} \right\}_i \rightarrow \left\{ p_1^{out} = v_i^2, \dots, p_{n2}^{out} \right\}_j \right\}_{i,j,m}.$$

Зрозуміло, що природа таких стрілок є визначальною, з точки зору комплексності проблеми, та, відповідно, досяжності рішення при накладених обмеженнях (їх множинах, системах та ієрархіях відповідно). Тоді також весь процес резонінгу буде контролюватися накладеними обмеженнями з метою редукції та валідації домену змінних. В такій ситуації всі можливі очі-

куванні рішення в формі шуканих підстановок типу

$$\{P_1 = V_{1m}^x, p_{n1}^{in} = V_{n1}^x, p_1^{out} = V_{V1}^y, \dots, p_{n2}^{out} = V_{n2}^y\}$$

стають відповідно досяжними. Проте відразу не можна передбачити складність такого підходу, що вимагатиме значних обчислювальних зусиль для ідентифікації та формалізації множини знань і для побудови відповідної моделі розмірковувань (формального резонінгу). В той же час, наявність засобів контролю накладених обмежень забезпечує швидкий пошук наявних рішень, а також швидко констатацію ефекту відсутності очікуваних рішень взагалі. Тому спільне використання двох зазначених фундаментальних теорій – КБМ та ІПО дає нові можливості. А саме, методологія КБМ дозволяє використовувати минулий досвід для пошуку рішень нових проблем:

$$TP^{set}.KB = CBase \rightarrow sol(TP^{new}).$$

Єдина проблема полягає в тому, що видобути кейси як потенційні рішення дуже рідко можуть бути безпосередньо застосованими в новому контексті, зважаючи на складність предметної області, особливо в процесі буріння нафтових і газових свердловин. Тому, в даній проблемі особливого значення набуває коректність та ефективність виконуваного процесу *адаптації кейсу* (в тому числі в *формі модифікації*). Тому актуальною проблемою для вирішення є формалізація процесу адаптації засобами техніки *представлення і задоволення обмежень*. Коректність поставленої задачі обґрунтовується також тим, що в КБМ-методології ми оперуємо із такими ключовими елементами, як змінні (параметри), значення змінних та параметрів, а також накладених обмежень як процесу, що розглядається в його динаміці та статичі, що також є складовою процесу декомпозиції складних проблем, для яких може не існувати рішення на певний момент часу (що зумовлюється, наприклад, невизначеним станом ряду ключових параметрів), не підключаючи простіших проблем, для яких рішення існуватиме на таких же заданих початкових умовах (*накладених обмеженнях*).

Розроблення ефективної методології взаємодії з експертом на етапі *адаптивної модифікації* дозволить суттєво знизити затрати на інженерію знань загалом і звести даний процес до динамічної корекції рішення шляхом внесення правок безпосередньо на стадії *адаптивної модифікації*. В загальному випадку адаптація кейсу (прецеденту) є процесом, в ході якого видобуто рішення може бути перетворене в найбільш прийнятне (близьке) до поточної про-

блеми. В загальному випадку, адаптація кейсів є процесом, де видобуто рішення може бути перетворене в найбільш властиве (релевантне) поточній проблемі. В ряді випадків для частини рішень, пов'язаних із видобуванням, виходять із того, що множина кейсів має певну надлишковість, тобто є достатньо обширною для покриття кожного процесу адаптації (іншими словами, стверджується, що *необхідна модифікація* обов'язково буде знайдена). В той же час, якщо процес адаптації розглядати як основний елемент в *рутині* КБМ, то це буде більш раціональним, оскільки йдеться безпосередньо про якість рішення та застосування найбільш ефективного *солвінгу*. Також, слід вирішити проблему необхідного контролю *релевантності* та якості минулого досвіду, представленими у форму кейсів і відокремлення процесу адаптації на рівні важливості впливу на весь процес пошуку рішення певної проблеми із використанням всього можливого експертного досвіду.

Наявні методології КБМ рутин дають змогу виділити такі основні стратегії:

стратегія «нульової адаптації» – є найпростішою формою за видом адаптації відповідного рішення певної проблеми, що копіюється безпосередньо з видобутого релевантного кейсу без жодної модифікації списку параметрів, змінних та значень;

стратегія оновлюючих підстановок – частина минулих рішень замінюється відповідно новими підстановками значень параметрів, відповідно минулі входження стають неприйнятними, оскільки вже не задовольняють змінним сукупностям обмежень, перебуваючи відповідно в конфлікті значень (порушуючи їх);

стратегія модифікації – застосовується у випадку відсутності жодної адаптивно-коректуючої підстановки. Шукане рішення може бути отримане за сукупністю обмежень і характеристик (особливостей) шуканого рішення. Такі обмеження будуть визначати, якими саме властивостями шукане рішення буде володіти, а яких мати не повинно;

стратегія мультикейсової адаптації – виконує поєднання певної кількості кейсів для виведення шуканого рішення;

стратегія абстрактних систем обмежень – виконує абстрактний солвінг на заданому ступені звуження або розширення накладеної сукупності обмежень (добре або слабо структурованої). Слід зауважити, що такі стратегії є доповнюючими до ступеня схожості між вихідним кейсом та цільовою проблемою відповідно

$$SimI_2(Case^{src}.TP^{try}).$$

Цільове рішення Sol^{try} належить до вихідного рівня Sol^{src} як цільова проблема TP^{try} співвідноситься до вихідної проблеми TP^{src} . Тоді, виходячи із відомих вихідної проблеми TP^{src} вихідного рішення Sol^{src} , сформулюємо відповідно нову проблему TP^{new} , і стане можливим розрахунок цільового рішення. Таким чином, виконання успішної адаптації можливе в двох режимах:

перехідні дані – пряма модифікація рішення (в формі підстановки) із видобутого кейсу шляхом зміни значень параметрів в підстановці;

похідний режим – модифікується сам метод рішення проблеми на основі компарації первинних та похідних систем обмежень. Зрозуміло, що більшу складність та затратність представляє саме режим другого типу. Тому в термінах введених формалізмів матимемо:

$$Derive \rightarrow CS^{src} (TP^{src} / Sol^{src}) \xrightarrow{src|try} CS^{new} (TP^{new}_{try}, Sol^{new}_{try}).$$

Можна розглядати відповідно велику кількість успішних формалізмів для досліджуваного процесу адаптації, що в центрі моделі містять механізми CSP – інформаційно-пошукових задач на основі обмежень, що виражатимуть представлення та дотримання обмежень, накладених на прецеденти (множину прецедентів).

В тому числі питання, що стосуються також мультикейсової адаптації як способу оперування із множиною підстановок скінченого типу із заданою розмірністю, що дозволить усувати локальні непослідовності (розбіжності) бази кейсів для побудови глобального рішення для нової цільової проблеми. Адаптаційні механізми даного рівня містять в своїй основі відповідний CSP-алгоритм, що дає змогу коректно оцінювати обчислювальну складність такої реалізації. Однак слід зауважити, що застосування CSP-методології не позбавлено і певних недоліків стосовно видобування та формалізації знань загалом.

Тому в даному контексті найбільш ефективним рішенням є наявність відповідного «онлайн-сервісу» для набуття експертних знань і відповідної верифікації рішення під час вирішення кожної окремої проблеми, що в нашому випадку формують сутність технологічного процесу. Такий «онлайн-сервіс» базується на засобах експертної взаємодії із КБМ-системою, зокрема при виникненні збоїв адаптації в загальному випадку і при потребі відповідної корекції рішення як такого. Коли експерт виконує релевантне корегування запропонованого рі-

шення в плані вибору методу резолюції, то такі знання будуть оновлені і додані до бази знань. Явною перевагою такого підходу є суттєво знижені затрати на інженерію знань під час виконання експертом специфічного запиту заданого виду. Врешті, під час отримання успішної адаптації, рішення знову пропонується експерту, що матиме два напрямки подальшого розвитку:

1) *задовільний результат* – новий кейс та відповідний метод адаптації;

2) *незадовільний результат* – активується новий цикл роботи із експертом і метод адаптації модифікується доки не буде отримане задовільне рішення. Отже, модифікується сама підстановка та метод адаптації полягає у зміні присвоєних значень для списку параметрів, заданих в підстановці.

Тепер необхідно дослідити найважливіший момент, де ми отримаємо злиття двох вказаних вище теорій. Послідовність вибору така:

1) експертні знання формуються у формі *обмежень*;

2) для кожної нової адаптації двигун *резонінгу* задає переміщення по номінальних обмеженнях завдяки розвинутим методам CSP [15];

3) домінуюча характеристика полягає в тому, що можливе розрізнення та збір загального домену та цільових специфікацій щодо вимог до проблеми у формі *релевантних обмежень*. Саме тоді можна сформулювати кінцеве нове бачення стратегії адаптації в термінах обмежень, що дозволить відбір необхідних релевантних підстановок до нових, ще не вирішених проблем, що, таким чином, унаочнює їх значення в предметній області.

В онтологіях використовується ряд відношень: «бути типом», «бути підтипом», «бути частиною», «бути класом», «бути екземпляром (інстанцією)». Онтології дають можливість передавати інформацію від системи; пропонується методологія в даному випадку дозволяє проілюструвати відношення між елементами кейс-представлень на семантичному рівні, що особливо актуально в контексті новітніх реалізацій типу «*Semantic web*», «*Web of knowledges*» тощо. Як правило, імплементація онтології здійснюється засобами мови, що дає змогу керувати нею. Для онтологій, базованих на логіці, такою мовою є дескриптивна логіка. Таким чином, концепція онтологій надає експресивний фреймворк для побудови *структурованого представлення кейсів*, що дозволяє семантичне видобування кейсів. Крім того, використання саме формальної логіки дозволить виявлення можливих та потенційних непослідовностей та

некоректностей кейс-базованої організації на зразок обов'язкової перевірки консистентності бази знань в діючій експертній системі як засобу забезпечення її цілісності на логічному рівні.

Зрозуміло, що такий спосіб потребуватиме більшої кількості необхідних для виконання ресурсів. Більш ефективним є використання ресурсів бази кейсів шляхом видобування знань з метою адаптації шляхом використання техніки машинного навчання для отримання відповідних евристик. Для цього необхідно, щоб база кейсів містила достатню кількість кейсів. Це дасть змогу уникнути неточностей і апроксимацій вже на рівні самих евристик. І тут, власне, вся проблема полягає у досягненні необхідної кількості кейсів в базі. Зокрема, складним є також вибір ефективного методу корегування знань з метою адаптації на кожному із доступних рівнів, що також вимагає значних ресурсних затрат.

Висновки

Проаналізовано доцільність та перспективи гібридизації кейс-базованих міркувань та специфікацій інформаційно-пошукових задач на основі обмежень. При такому підході важливо, що знання моделюватимуться та відповідно подаватимуться у формі обмежень через використання відповідних логічних відношень, математичних виразів, доменів валідності та верифікованості. Основною перевагою такого підходу є можливість побудови ефективного інструменту для підтримання і реалізації поточної стадії проекту. Це вимагає забезпечення достатньої лінійності кейсів для досягнення певних задовільних результатів. Слід зауважити, що проєктовані представлення для функції вимірювання близькості мають надвисокий рівень комплексності, тож робота такої функції даватиме певну колізію, коли найбільш метрично близький кейс не обов'язково є найбільш релевантним. Це вноситиме неточність у загальну резолюцію. Тобто видобуті кейси знову ж таки не обов'язково будуть найбільш релевантними до заданого формулювання проблеми із накладеними обмеженнями в термінах кейс-базованих міркувань та інформаційно-пошукових задач відповідно. Отже, використання підходу на основі обмежень вимагатиме значних зусиль для видобування та інтерпретації знань.

Таким чином, весь процес модифікаційної адаптації слід розглядати як процес вирішення інформаційно-пошукової задачі із накладеними

обмеженнями, що дасть можливість розвинути досить ефективну методологію, яка може бути поширена на цілий ряд предметних областей.

Література

- 1 Юрчишин В. М. Інформаційне моделювання нафтогазових об'єктів: монографія / Юрчишин В. М., Шекета В. І., Юрчишин О. В. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 196 с.
- 2 Семенцов Г. Н. Автоматизація процесу буріння свердловин / Семенцов Г. Н. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1998. – Ч. 1. – 300 с.
- 3 Горбійчук М. І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М. І. Горбійчук, Г. Н. Семенов. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – 493 с.
- 4 Strathman M. Time-Based Real-Time-Drilling-Operations Excellence Delivered / M. Strathman, D. Elley, N. Meirerhoefer // SPE 107303, SPE Digital Energy Conference and Exhibition, (Houston, TX, April 2007). – Houston, TX, 2007. – P. 203–206.
- 5 Offshore Field Test of a New Integrated System for Real-Time Optimization of the Drilling Process / F. P. Iversen, E. Cayeux, E. W. Dvergsnes [et al.] // IADC/SPE 112744, IADC/SPE Drilling Conference held in Orlando (Florida, USA, 4–6 March 2008). – Florida, USA, 2008. – P. 518–530.
- 6 John Z. Optimized Decision Making Through Real Time Access to Drilling and Geological Data from Remote Wellsites / Z. John, A. Ahsan, I. Reid // SPE 77855, SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition (Melbourne, October 2002). – Melbourne, Australia, 2002. – P. 1–11.
- 7 Monden T. Operation Support Centers – Real Time Drilling Optimization and Risk Mitigation / T. Monden, C.R. Chia // SPE 110950, SPE Saudi Arabia Technical Symposium, (Dhahran, May 2007). – Dhahran, 2007. – P. 1–9.
- 8 Ozbayoglu M. E. Minimization of Drilling Cost by Optimization of the Drilling Parameters / M. E. Ozbayoglu, C. Omurlu // 15th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, (Ankara, 11–13 May 2005). – Ankara, 2005. – P. 135–147.
- 9 Use of Real-Time Data at the Statfjord Field Anno 2005 / J. Milter, O.G. Bergjord, K. Hoyland [et al.] // SPE 99257, SPE Intelligent Energy Conference and Exhibition, (Amsterdam, Netherlands, April 2006). – Amsterdam, Netherlands, 2006. – P. 31–38.
- 10 Drilltronics: An Integrated System for Real-Time Optimization of the Drilling Process /

R. Rommetveit, K. S. Bjorkevoll, G. W. Halsey [et al.] // IADC/SPE 87124, IADC/SPE Drilling Conference, (Dallas, Texas, 2–4 March 2004). – Dallas, Texas, 2004. – P. 160–171.

11 Monitoring and Control of Drilling Utilizing Continuously Updated Process Models / F. P. Iversen, E. Cayeux, E. W. Dvergsnes [et al.] // SPE 99207, IADC/SPE Drilling Conference, (Miami, Florida, February 2006). – Miami, Florida, 2006. – P. 1–10.

12 Dupriest F. E. Maximizing Drill Rates with Real-Time Surveillance of Mechanical Specific Energy / F. E. Dupriest, W. Koederitz // IADC/SPE 92194, Drilling Conference (Amsterdam, February 2005). – Amsterdam, 2005. – P. 1–10.

13 Optimize Drilling and Reduce Casing Strings Using Remote Real-Time Well Hydraulic Monitoring / E. Tollefsen, R. B. Goobie, S. Noeth [et al.] // SPE 103936, First International Oil Conference and Exhibition (Cancun, Mexico, September 2006). – Cancun, Mexico, 2006. – P. 1–13.

14 Шекета В. І. Інтелімедійна інформаційна система підтримки прийняття рішень в процесі буріння / В. І. Шекета, В. Д. Мельник, Л. І. Гобир // Проблеми інформаційних технологій. – 2016. – № 19. – С. 96–116.

15 Вовк Р.Б. Прийняття рішень у нафтогазовій галузі інструментами теорії обмежень: монографія / Р.Б. Вовк, О.Ф. Козак, В.І. Шекета, В.М. Юрчишин. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017 – 208 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
30.11.18*

*Рекомендована до друку
професором **Юрчишином В.М.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
д-ром техн. наук **Кузем М.В.**
(Івано-Франківський інститут права
імені Короля Данила Галицького,
м. Івано-Франківськ)*