



УДК 681.5:622.24

CONSTRUCTION OF THE SUPPORT SYSTEM FOR DECISION MAKING MANAGEMENT OF SPECIFIC TECHNOLOGICAL RISKS IN THE WELL-DRILLING PROCESS

ПОБУДОВА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ СПЕЦИФІЧНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ РИЗИКАМИ У ПРОЦЕСІ ПОГЛИБЛЕННЯ СВЕРДЛОВИН

Sementsov G.N., Семенцов Г.Н.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-8976-4557

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, 76019
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Karpatskaya, 15, 76019*

Анотація. У роботі обґрунтовано і доведено необхідність побудови системи підтримки прийняття рішень для управління специфічними технологічними ризиками у процесі поглиблення свердловин. Досліджено та уточнено сутність поняття «технологічні ризики», визначено основні його види. Представлено класифікацію методів оцінювання ризиків. Досліджено характеристики придатності методів оцінювання ризиків, що передбачені міжнародним стандартом, і когнітивних методів. Запропоновано математичну постановку задачі розпізнавання нештатних ситуацій у динаміці функціонування процесу буріння. На прикладі процесу буріння нафтогазових свердловин досліджено механізм використання методів оцінювання ризику для управління специфічними технологічними ризиками у процесі поглиблення свердловин. Запропоновано конкретну структуру системи підтримки прийняття рішень для управління специфічними технологічними ризиками у процесі поглиблення свердловин. Обґрунтовано необхідність застосування під час виявлення, ідентифікації й оцінювання специфічних технологічних ризиків, методів Fuzzy Logic і штучних нейронних мереж.

Ключові слова: автоматизоване управління, система підтримки прийняття рішень, поглиблення свердловин, специфічні технологічні ризики.

Вступ.

Ризики притаманні функціонуванню бізнес-сегменту UPSTREAM будь-якого нафтовидобувного підприємства, що здійснює геологічну розвідку, буріння свердловини і видобування вуглеводнів. Кількість факторів ризику тільки для такого сектору бізнес-сегменту UPSTREAM як нафтогазовидобування вимірюється десятками. Це виробничо-технологічні, інформаційні, геологічні, економічні, екологічні та ін. ризики. Деякі з них є спільними для інших промислових підприємств.

Проте, більшість факторів ризику властиві виключно окремим секторам бізнес-сегменту UPSTREAM і тому є специфічними. Особливу високу складність специфічних ризиків має технологічний процес буріння глибоких свердловин, зокрема, процес їхнього поглиблення. Слід відзначити, що процес поглиблення свердловин здійснюється за умов апріорної та поточної невизначеності, неточності, неповноти і суперечливості первинної інформації про штатні і нештатні режими. Сьогодні поглиблення свердловин здійснюється алмазними і шарошковими долотами нового покоління, які забезпечують



проходку на одне долото до 6000 м. Процес відпрацювання цих доліт відбувається під впливом різного типу завад з боку геосередовища за умов дефіциту інформації, а сам процес поглиблення є невідтворюваним нелінійним стохастичним нестационарним і таким, що розвивається у часі в умовах поступового погіршення технічного стану породоруйнівного інструменту. Тому проблема управління специфічними ризиками, що викликані непередбачуваними змінами геосередовища і технічного стану породоруйнівного інструменту у процесі поглиблення свердловини (виявлення, (сигнальна) ідентифікація, оцінювання, розроблення методів контролю та заходів щодо мінімізації ризику) набула важливого самостійного теоретичного і прикладного значення. Вона є складовою частиною теорії і практики автоматизованого управління складними об'єктами, що функціонують в умовах підвищеного ризику і невизначеності, та набуває суттєвої актуальності для автоматизації буріння як галузі техніки, яка динамічно розвивається.

Основний текст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема ефективного використання теорії ризиків і управління ними активно досліджується багатьма науковцями. Значна частина досліджень стосується окремих методів з оцінювання рівню ризику в різних сферах. Це такі види ризику як ризики промислових підприємств [1,6], ризики інноваційної діяльності [2,3,4], банківський, валютний, інформаційний, кредитний, податковий ризики [4,5], ризики надзвичайних ситуацій [24] та ін. Ризики діяльності промислових підприємств є складним багатоплановим поняттям, а їх оцінювання і визначення ступеня впливу на економічну ситуацію підприємства є складним багатфункціональним процесом [6]. Ще складнішими є специфічні ризики нафтогазовидобувних підприємств, методичний підхід до оцінювання яких розглянуто у роботі [7]. Слід відзначити, що на сьогодні відсутня методологія оцінювання ступеня впливу виробничо-технологічних ризиків на функціонування бізнес-сегменту UPSTREAM, хоча для загальної оцінки ризиків існує міжнародний стандарт [8]. З існуючих наукових досліджень відомо, що базові положення теорії ризику використовуються для аналізу дисипативності стохастичних систем, чутливих до ризиків [9], для нечіткого когнітивного аналізу ризиків при тестуванні програмного забезпечення [10] тощо.

Слушно відмітити, що опубліковані наукові дослідження з питань оцінювання ризиків та побудови систем управління виробничо-технологічними ризиками у складних технічних системах [1,9,10,13 та ін.] свідчать про те, що ці питання застосовують на широке теоретичне узагальнення та застосування на практиці у бізнес-сегменті UPSTREAM. Управління специфічними технологічними ризиками у бурінні має визначати шляхи і можливості забезпечення стійкості технічної системи, а також її здатності протистояти несприятливим змінам властивостей геосередовища і технічного стану породоруйнівного інструменту. У вітчизняних умовах ця проблема набуває важливого значення, оскільки існує нагальна потреба розробки методологічних засад ефективної автоматизованої системи підтримки прийняття рішень для



управління специфічними технологічними ризиками у таких складних технічних системах як буріння глибоких свердловин.

Оскільки цілісної теорії управління ризиками поки немає, практичне виявлення, ідентифікація та оцінювання ризиків у процесі буріння свердловин вимагає розроблення нових підходів, створення більш сучасних методів розрахунку, а головне – використання накопичених фактів (прецедентів) для управління ризиками. За умов високої ціни управлінських рішень, характерної для бізнес-сегменту UPSTREAM, розроблення стратегії системного забезпечення гарантованої безпеки функціонування такої складної технічної системи як процес буріння свердловин є актуальною і має бути орієнтовано на своєчасне виявлення, ідентифікацію, оцінювання й усунення можливих перед аварійних ситуацій на ранніх стадіях і забезпечення безаварійного поглиблення свердловини.

Мета роботи: дослідити наукові підходи та проблеми функціонування системи автоматизованого управління специфічними технологічними ризиками у складних технічних системах поглиблення глибоких свердловин та запропонувати модель системи підтримки прийняття рішень, а також обґрунтувати науково-методичні засади оцінювання рівня ризику у процесі буріння.

Інтерпретація поняття «технологічні ризики». У даний час не існує якоїсь єдиної інтерпретації такого поняття як технологічні ризики.

Ризик розглядають [1,4,8,10,11] як загрозу або усвідомлену можливість небезпеки, що виникає, розвивається та може призвести до негативних наслідків при будь-яких видах діяльності, пов'язаних з виробництвом продукції, товарів і послуг, їхньої реалізації, товарно-грошовими і фінансовими операціями, здійсненням проектів; невизначеність в передбаченні результату.

Оскільки розглядається група специфічних технологічних ризиків (СТР), що виникають у процесі поглиблення свердловин, то вважатимемо, що ризик – це певний фактор геосередовища або технічного стану породоруйнівного інструменту, який негативно впливає на процес, розвивається у часі і в результаті може призвести до ускладнення або аварійної ситуації, тобто до створення нештатної ситуації і, як наслідок, проблеми, яка заважатиме продовженню процесу поглиблення свердловини і приведе до суттєвих втрат, пов'язаних з ліквідацією її наслідків.

Ризики треба виявити та мінімізувати їхні наслідки до того, як вони почнуть впливати на процес поглиблення свердловини. Головною особливістю роботи з СТР у бурінні є їхня циклічність, тобто вони можуть повторюватися у наступних рейсах різних доліт.

Задачею управління СТР є визначення шляхів і можливостей стійкого і стабільного функціонування бурової установки в умовах невизначеності, а також її здатність протистояти несприятливим ситуаціям, джерелами яких є ризики, що викликані технологічними причинами (внутрішні ризики), й ризики, що викликані зміною властивостей геосередовища (зовнішні ризики).

До першої групи можна віднести такі аварії й ускладнення як обрив бурильної колони в свердловині, критичний знос опор й озброєння долота;



втрата герметичності бурового інструменту і, як наслідок, зниження тиску; промив пари «поршень–втулка» і клапанів бурових насосів; перевищення швидкості спуску або підйому інструмента над значенням, що регламентується геолого-технічним нарядом; злам квадрата; злам вала турбобура; залишення шарошки в свердловині; аварійна зустріч ствола іншої свердловини.

До другої групи належать такі аварії: прихват бурильного інструмента; обвалювання стінок свердловини; розгазування бурового розчину, яке веде до зменшення густини розчину більше ніж на 5% від нормальної впродовж більше за час відставання в затруб'ї (при циркуляції без буріння);

і ускладнення: поглинання бурового розчину; звуження ствола свердловини, газопрояви, перетинання водоносних горизонтів з великим напором; зони з аномальними високими пластовими тисками; поглинання або приплив бурового розчину в процесі поглиблення; прояви свердловини при бурінні та ін.

Аналіз аварійних ситуацій і ускладнень дозволив встановити, що основними показниками процесу буріння, що можуть бути використані для їхнього виявлення та сигнальної ідентифікації, є витрата бурового розчину на вході в свердловину і виході з неї, момент на роторі, зміст газу в промивальній рідині, тиск бурового розчину на виході насосів, швидкість переміщення бурильного інструменту, температура бурового розчину, рівень і об'єм рідини в резервуарі, проходка долота за один оберт, густина бурового розчину та ін.

Проблема прийняття рішень при управлінні СТР вирішується шляхом застосування комплексного управління ризиками, яке є невід'ємною частиною оперативного управління бурінням свердловин.

Ефективне функціонування системи управління ризиками ґрунтується на певних принципах, які повинні бути закладені на етапах проектування і синтезу:

- максимальне охоплення сукупності ризиків;
- мінімізація і нейтралізація впливу ризиків;
- можливість адекватної та швидкої реакції на усі зміни в сукупності ризиків;
- прийняття обґрунтованого ризику, якщо його ідентифікували й оцінили та створили механізм його моніторингу.

Аналіз літератури [7, 17] дає підстави константувати, що як у вітчизняній, так і зарубіжній теорії, а також практиці не існує єдиного підходу до управління специфічними технологічними ризиками у буріння.

Головною метою стратегії управління СТР є гарантування раціонального обґрунтованого ресурсу живучості системи буріння свердловини у реальних умовах геосередовища за наявності часових обмежень, тобто спроможності зберігати штатний режим безаварійного функціонування в умовах невизначеності щодо параметрів і структури об'єкта і наявності факторів ризику. При необхідності для оцінки, ідентифікації передаварійної ситуації та уточнення її значущості може бути проведена тестуюча операція зупинення буріння з продовженням циркуляції бурового розчину, вмикання/вимикання насосів та ін.



Класифікація методів оцінювання ризиків. Класифікація методів оцінювання СТР після їхнього виявлення пов'язана з такими етапами [8]:

- сигнальна координатна ідентифікація ризику;
- аналізування ризику: а) аналіз наслідків; б) якісна, кількісна або змішана оцінка ймовірнісних характеристик ризику; в) оцінка ефективності існуючих засобів управління; г) кількісна оцінка рівню ризику;
- порівняльна оцінка ризику.

Для кожного етапу процесу оцінювання ризику можливість застосування відповідного методу визначається [8] за шкалою: SA (повністю придатний), NA (не придатний), A (придатний). На вибір методу оцінювання ризику впливають такі фактори як складність проблеми і методів, необхідних для аналізу ризику; характер і ступінь невизначеності оцінки ризику, що ґрунтується на доступній інформації і відповідності цілям; необхідні ресурси: часові, інформаційні та ін.; можливість отримання кількісних оцінок вихідних даних. Сьогодні відомо кілька методів оцінювання ризику, які розрізняються процесами виявлення, ідентифікації, аналізу і порівняльної оцінки ризику [8]. Декілька з них наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики придатності методів оцінювання ризику

Назва методу	Процес оцінювання ризику				
	Ідентифікація ризику	Аналіз ризику			Порівняльна оцінка ризику
		Наслідки	Ймовірнісні характеристики	Рівень ризику	
Дослідження безпеки і працездатності (HAZOR, CHAZOR – Control Hazaras and Operalility Analysis) – (дослідження керування безпекою і працездатністю або дослідження комп'ютерної безпеки і працездатності).	SA	SA	A	A	A
Структурований аналіз сценаріїв методом «що, якщо?» (SWIFT – Structured what – if technique).	SA	SA	SA	SA	SA
Аналіз першопричини відмови (RCA – Root Cause Analysis).	NA	SA	SA	SA	SA



Аналіз видів і наслідків відмов (FMEA – Failure Mode Effect Analysis).	SA	SA	SA	SA	SA
Аналіз дерева-несправностей (FTA – Fdult Tree Analysis).	A	NA	SA	A	A
Аналіз дерева подій (ETA – Event Tree Analysis).	A	SA	A	A	NA
Аналіз причин і наслідків.	A	SA	SA	A	A
Причинно-наслідковий аналіз	SA	SA	NA	NA	NA
Аналіз дерева рішень	NA	SA	SA	A	A
Аналіз впливу людського фактору (HRA – Human Reliability Assessment).	SA	SA	SA	SA	A
Аналіз «краватка–метелик».	NA	A	SA	SA	A
Технічне обслуговування, що спрямоване на забезпечення надійності (RCM)	SA	SA	SA	SA	SA
Аналіз рівнів захисту (LOPA – Layers of Protection Analysis).	A	SA	A	A	NA
Марківський аналіз	A	SA	NA	NA	NA
Моделювання методом Монте-Карло.	NA	NA	NA	NA	SA
Байєсівський аналіз і мережі Байєса	NA	SA	NA	NA	NA

Джерело [8]

Необхідність дослідження слабоструктурованих систем і ситуацій, залежності між елементами яких є як кількісними, так і якісними, призвела до розвитку методів когнітивного аналізу [10,12,13]. Цей підхід запропоновано для побудови моделей слабо структурованих систем, дослідження їхньої поведінки, підготовки та прийняття управлінських рішень з вирішенням ситуацій і проблем, що виникають під час функціонування і розвитку таких систем. Когнітивний метод оцінки розвитку ситуацій є новим підходом при автоматизації складних об'єктів. В основу побудови моделей системи або ситуацій покладено суб'єктивне розуміння та уявлення суб'єкта управління про параметри керованої системи і причинно-наслідкові зв'язки між ними. Когнітивна карта оцінки ризиків слугує ефективним інструментом для



формування та уточнення гіпотези про функціонування досліджуваного об'єкта, особливо, коли необхідно враховувати збурення, що є недосяжними для вимірювання, як це має місце в бурінні.

Відомо кілька видів когнітивних карт (КК) [10,13,14,15,16]: знакові КК; fuzzy КК Коско; модифіковані fuzzy КК, fuzzy реляційні КК; fuzzy продукційні КК; fuzzy КК Силова та ін.

Найефективнішим для технічних систем є метод побудови когнітивних моделей на основі fuzzy КК Силова, що поєднує методи Fuzzy Logic та теорію графів [10]. Основними результатами когнітивного аналізу є визначення консонансу, дисонансу, позитивного і негативного впливів концентів один на одного і на систему та інші системи та інтегральні показники властивостей аналізованої системи.

Вихідні дані процесу оцінювання ризику є вихідними даними для процесу підтримки прийняття рішень уповноваженою особою – буровим майстром. Оскільки метою управління ризиками є надання особі, що приймає рішення, вірогідної інформації, необхідної для прийняття обґрунтованого рішення в умовах невизначеності щодо способів мінімізації їх наслідків до того, як вони почнуть впливати на процес буріння, то ця особа повинна знати [8]: технологію процесу буріння і його мету; рівень припустимого ризику і способи оброблення неприпустимого ризику; способи інтеграції процесів оцінювання ризику у процесі управління ризиками; доступні ресурси для виконання, повноваження, відповідальність, систему звітності; способи аналізу оцінки ризику і способи їх реєстрації.

Слід відзначити, що нештатні ситуації слід розглядати не тільки як прояви факторів відхилення реальної поведінки технічної системи від очікуваної у процесі виконання завдання геолого-технічного наряду, але й як прояви факторів неможливості управління процесом для переводу його в заданий цільовий стан.

Отже ризики й управління ними є взаємопов'язаними компонентами системи підтримки прийняття рішень (СППР), яка сама може бути джерелом додаткових ризиків. Тому СППР має спиратися на алгоритми управління ризиками.

Математична постановка задачі управління специфічними технологічними ризиками в динаміці функціонування процесу поглиблення свердловин. У загальному вигляді математична постановка задачі розпізнавання і мінімізації специфічних технологічних ризиків у процесі поглиблення свердловин за участі осіб, що приймають рішення у процесі ліквідації їх наслідків, може бути сформульована як один із варіантів методики моніторингу й оптимізації ризиків у надзвичайних ситуаціях [24].

Відома множина бурових установок $M\{БУ\} = \{БУ_1, БУ_2, БУ_3, \dots, БУ_m\}$ нафтогазовидобувного підприємства, які забезпечені локальними системами підтримки прийняття рішень $M\{СППР\} = \{СППР_1, СППР_2, СППР_3, \dots, СППР_m\}$ для управління специфічними технологічними ризиками (СТР) у процесі поглиблення свердловин.

Для кожної бурової установки відомі:



- набір “k” характеристик геосередовища, в якому здійснюється будівництво свердловин

$$\text{Geo} = \langle g_1, g_2, g_3, \dots, g_k \rangle, g_i \in \text{Geo}, i = \overline{1, k};$$

- набір “a” характеристик аварійного технічного стану породоруйнівного інструменту Rdrill

$$\text{Rdrill} = \langle r_{d_1}, r_{d_2}, r_{d_3}, \dots, r_{d_a} \rangle, r_{d_i} \in \text{Rdrill}, i = \overline{1, a};$$

- поточна ситуація Sit у вигляді “n” нестационарних часових рядів x_n

$$\text{Sit} = \langle \{x_1\}, \{x_2\}, \dots, \{x_n\} \rangle, x_i \in \text{Sit}, i = \overline{1, a};$$

- база знань прийнятих рішень

$$\text{Kb} = \langle \text{Kb}_1, \text{Kb}_2, \dots, \text{Kb}_b \rangle,$$

$$\text{Kb}_i = \langle g_i, rd_i, x_i, \text{measure}_i, \text{losses}_i, \text{price}_i \rangle,$$

де measure_i – вжиті заходи;

losses_i – втрати;

price_i – ціна вжитих заходів.

- множина можливих типів специфічних технологічних ситуацій

$$\text{TypeSit}^{\text{specific}} = \langle \text{typesit}_1^{\text{sp}}, \text{typesit}_2^{\text{sp}}, \dots, \text{typesit}_u^{\text{sp}} \rangle, \text{typesit}_i^{\text{sp}} \in \text{TypeSit}^{\text{specific}}, i = \overline{1, u};$$

- вектор максимально допустимих ймовірностей появи специфічних технологічних ситуацій подібного типу відповідно до $\text{TypeSit}^{\text{specific}}$

$$P_{\Pi} = \langle P_{\Pi 1}, P_{\Pi 2}, \dots, P_{\Pi u} \rangle.$$

Результатом вирішення такої задачі вважатимемо

- комплекс заходів (Complex measures)

$$\text{Cm} = \langle \text{cm}_1, \text{cm}_2, \dots, \text{cm}_i \rangle;$$

- керувальну дію Direct, яка за допомогою цих заходів переводить специфічну поточну ситуацію $\text{Sit}^{\text{specific}}$ у штатну ситуацію Sit^{stat}

$$\text{Sit}^{\text{specific}} \xrightarrow{\text{cm}} \text{Sit}^{\text{stat}};$$

- загальну ймовірність розвитку специфічної технологічної ситуації

$$P_{\Pi} = (\text{Geo}, \text{Rdrill}, \text{Sit}^{\text{stat}}, \text{KB});$$

- вартість комплексу заходів з попередження або ліквідації наслідків специфічної технологічної ситуації

$$\text{price}(\text{Cm}) = \sum_1^i \text{price}(\text{Cm}_i);$$

- загальну оцінку втрат, яка складається із вартості прямих втрат від виникнення СТК i -го типу, вартості втрат, пов'язаних з ліквідацією наслідків i -го типу, вартості не відновлюваних втрат внаслідок виникнення СТР: $\text{losses}(\text{Cm})$.

Отже, математична постановка задачі мінімізації СТР може бути сформульована так

$$\text{losses}(\text{Cm}) \rightarrow \min;$$

$$\text{price}(\text{Cm}) \rightarrow \min;$$

$$p(\text{Geo}, \text{Rdrill}, \text{Sit}^{\text{stat}}, \text{Kb}) \rightarrow \min).$$



Оскільки задача багатокритеріальна, то можна використати для її вирішення метод Парето

$$\lambda_1 \text{losses}(\text{Cm}) + \lambda_2 \text{price}(\text{Cm}) + \lambda_3 (\text{Geo}, \text{Rdrill}, \text{Sit}^{\text{stat}}, \text{Kb}) \rightarrow \min,$$

$$\sum_{i=1}^3 \lambda_i = 1, \lambda_i - \text{ваги критеріїв.}$$

Відзначимо, що штатний режим функціонування об'єкта керування описується системою моделей функціонування процесу буріння як складної технічної системи (СТС), при таких припущеннях [18,19]:

– кожний рейс долота характеризується тривалістю t_6 , початковими і кінцевими значеннями кожного показника x_i процесу поглиблення свердловини, зміни яких у межах рейсу долота визначаються відповідною математичною моделлю [19];

– усі показники x_i процесу поглиблення свердловини під впливом керувальних дій Y одночасно збільшуються або зменшуються ;

– керувальні дії (осьове зусилля на долото, частота обертання, витрата бурового розчину) $Y = (Y_j, j = 3)$ не є безінеційними, тобто існує запізнення між керувальними діями та реакцією об'єкта керування на цю дію, яке обумовлене властивостями бурильної колони – змінами її довжини параметрів і структури з глибиною; окрім цього між ними існують зв'язки;

– фактори ризику змінюють величину керувальної дії на процес поглиблення у часі з глибиною та зі збільшенням тривалості дії специфічні технологічні ризики збільшуються;

– керувальна дія може сповільнювати вплив факторів специфічного технологічного ризику або спричиняти їх негативний вплив на процес поглиблення за умови, що темпи керувальної дії перевищують темп зростання факторів ризику. Припинення негативного впливу факторів ризику забезпечується, якщо управлінське рішення прийнято і реалізовано до початку критичного моменту часу у момент настання якого вплив факторів ризику веде до аварії.

З урахуванням прийнятих допущень для штатного режиму функціонування процесу поглиблення свердловини слід будувати систему математичних моделей, кожна з яких описує визначений режим буріння.

Для дослідження нештатних режимів поглиблення свердловини введемо припущення щодо формування додаткових моделей та умов розпізнавання нештатних ситуацій:

– фактори СТР є незалежними зовнішніми діями, що змінюються у часі і з глибиною свердловини по випадковим законам, розподіл яких априорі невідомий;

– фактори СТР можуть впливати одночасно на декілька показників процесу x_i або на всі показники одночасно. Ситуацією впливу факторів такого ризику вважатимемо нештатною, якщо 2 або більше показників x_i одночасно без впливу керувальної дії змінюють у часі несинхронно або несинфазно свої значення впродовж 4÷6 послідовних вимірних експериментальних значень. Тобто, якщо визначити $\Delta x_i = x_i(t_k) - x_i(t_{k-1})$, де t_k – дискретний поточний час, і



виявиться, що хоча б для двох x_i для декількох значень $t_k, t_{k-1} \dots, \Delta x_i > X$ порогового значення, то це слід розглядати як появу ризику. Тоді бурильник і буровий майстер, які приймають рішення, повинні отримати усю необхідну інформацію про цю ситуацію;

– вважатимемо також, що вплив факторів СТР це відносна зміна рівню керування процесом поглиблення свердловини під впливом факторів ризику, зміна значень яких відбувається дискретно.

На основі цих припущень мають бути створені додаткові моделі та умови розпізнавання ризиків для запобігання аварійних ситуацій в реальних умовах неповноти, невизначеності і протиріччя первинної інформації про штатні і нештатні режими функціонування процесу поглиблення свердловини.

Особливо важливим є наявність такого пріоритетного обмеження як обмеження часу на формування і реалізацію прийнятного рішення. Порушення цього обмеження веде до незворотних катастрофічних наслідків у вигляді вибуху, втрати свердловини та ін.

Використання методів оцінювання ризику для управління СТР у процесі поглиблення свердловини. Аварійні ситуації, що виникають у процесі поглиблення свердловини, опишемо множиною A , елементами якої є змінні a_n

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, a_i \in A, i = \overline{1, n} \quad (1)$$

де a_1, a_2, \dots, a_n – вектори, що відповідають конкретним ситуаціям.

Значення кожної змінної мають задовільняти умові:

$$\min a_i(t) < a_i(t) < \max a_i(t) \quad \forall t \in [t_0, t_6], \quad (2)$$

де t_0 – початок рейсу долота;

t_6 – час буріння – кінець рейсу долота;

$t \in T$ – неперервний час; T – тривалість інтервалу спостереження;

$\min a_i(t), \max a_i(t)$ – мінімально і максимально допустимі межі відхилення регульованої змінної, відповідно.

Окрім цього, різниці між номінальним $a_i^{\text{ном}}$ значенням і мінімально допустимим

$$\min \Delta_i = a_i^{\text{ном}}(t) - \min a_i(t), \quad (3)$$

а також максимально допустимим і номінальним значенням

$$\max \Delta_i = \max a_i(t) - a_i^{\text{ном}}(t), \quad (4)$$

не повинні перевищувати допустимі значення

$$|\min \Delta_i| \leq |\min \Delta_i^{\text{доп}}|, \quad (5)$$

$$|\max \Delta_i| \leq |\max \Delta_i^{\text{доп}}|. \quad (6)$$

Проте, у деяких випадках значення змінної a_i^k на k -кроці усунення порушень технологічного процесу можуть знаходитися поза межами допустимих значень $\min \Delta_i^{\text{доп}}, \max \Delta_i^{\text{доп}}$ [21].

Проходка долота за основний період його роботи $t \in [t_0, t_6]$:

$$h(t) \in \{h(t_0) = 0; h(t_6) \geq 0\}, \quad (7)$$

оцінка відносного зносу оснащення долота



$$\varphi(t) \in \{\mu(t_0) = 1; 1 \leq \mu(t) \leq (1 + m)^2\}, \quad (8)$$

де m – коефіцієнт, що залежить від геометрії зубців долота і форми їх зносу;

оцінка зносу опор шарошкового долота

$$g(t) \in \{g(t_0) = 0; 0 \leq g(t_6) \leq 1\}. \quad (9)$$

(Для алмазних доліт PDC останнє обмеження не потрібне у зв'язку з відсутністю опор у цьому типі долота).

Обмеження на керувальні дії

$$Y(t) \in \{Y_{\max}, Y_{\min}\} \quad \forall t \in [t_0, t_6]. \quad (10)$$

$$\text{тобто } F(t) \in \{F_{\min}, F_{\max}\}; \quad \Omega(t) \in [\Omega_{\min}, \Omega_{\max}], \quad \forall t \in [t_0, t_6], \quad (11)$$

і технологічні обмеження:

$$Q = \text{const}; \quad V_{\text{сп}} \leq (V_{\text{сп}})_{\max}; \quad M_{\text{д}} \leq (M_{\text{д}})_{\max}, \quad (12)$$

де Q – витрата промивальної рідини;

$V_{\text{сп}}$ – швидкість спуско-підіймальних операцій;

$M_{\text{д}}$ – момент на долоті.

Для умов Прикарпаття при $Q = \text{const}$, розроблена [19] математична модель, в якій усі параметри є досяжними для вимірювань в режимі on-line:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dh}{dt} &= K_1 F^{\alpha_1} \Omega^{\beta_1} \cdot \varphi^{-1}(t) \\ \frac{d\varphi(F, \Omega, \alpha)}{dt} &= K_2 F^{\alpha_2} \Omega^{\beta_2} \\ \frac{dg}{dt} &= K_3 F^{\alpha_3} \Omega^{\beta_3} \end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

де $K_1, \alpha_1, \beta_1; K_2, \alpha_2, \beta_2; K_3, \alpha_3, \beta_3$ – параметри моделі, що підлягають ідентифікації у процесі поглиблення свердловини;

$\varphi(t)$ – функція зносу долота.

Оскільки керувальні дії не є незалежними, система рівнянь (13) має бути доповнена рівнянням зв'язку $\Omega=f_1(F)$ для всіх способів буріння і $\Omega=f_2(Q)$ – для буріння свердловин з використанням занурених гідравлічних двигунів.

Застосувавши метод виявлення СТР, необхідно створити додаткові керувальні дії Y^* , що скеровані на усунення відхилень (5) і (6) і забезпечують [22] виконання таких завдань як

$$\left. \begin{aligned} \min \Delta_i \xrightarrow{a_i} 0, \\ \max \Delta_i \xrightarrow{a_i} 0, i = \overline{1, n} - \text{кількість регульованих змінних.} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Відзначимо, що процес поглиблення свердловин як об'єкт керування описується системою диференційних рівнянь

$$\frac{dx}{dt} = f(y, z, R), \quad (15)$$

де x, y – вектори вихідних змінних і керувальних дій;

z – вектор збурювальних дій на вході об'єкта керування, який характеризує взаємодію об'єкта з геосередовищем;



$R \neq \emptyset$ – множина прецедентів – варіантів відомих порушень r_i в ході технологічного процесу, в обладнанні і при роботі автоматизованої системи управління $r_i \in R$.

Нові факти порушень $r_i^{нов}$, що виникають у процесі поглиблення, але відсутні в множині прецедентів R , повинні бути занесені до неї $r_i^{нов} \in R$.

З них формується база прецедентів для системи підтримки прийняття рішень.

Для усунення нештатних ситуацій, що виникають впродовж основного періоду роботи долота в свердловині $t \in [t_0, t_6]$ обирається певний прийом стратегії Str_m із множини усіх відомих стратегій Str_n^i для i -тої змінної.

$$Str_n^i = \{Str_1^i, Str_2^i, \dots, Str_b^i\}. \tag{16}$$

Якщо жодна із існуючих стратегій не задовольняє особу, яка приймає рішення – бурового майстра, тоді розробляється нова стратегія і включається у множину стратегій (16).

Відзначимо, що кожній стратегії (16) відповідає одне із можливих управлінських рішень щодо запобігання аварії або катастрофічної ситуації

$$Y_n^i = \{Y_1^i, Y_2^i, \dots, Y_b^i\},$$

де Y_j^i – управління $y(t)$ на j -му кроці у випадку вибору i -ої стратегії усунення передаварійної ситуації на ранніх стадіях [23].

Слід зазначити, що виявлення специфічних технологічних ризиків і запобігання передаварійних ситуацій на ранніх стадіях, дослідження усіх можливих причин, що призвели до їх виникнення, є основним завданням запропонованої системи СППР (рис. 1), яка має забезпечувати безаварійне поглиблення свердловини й оптимізацію режиму буріння.

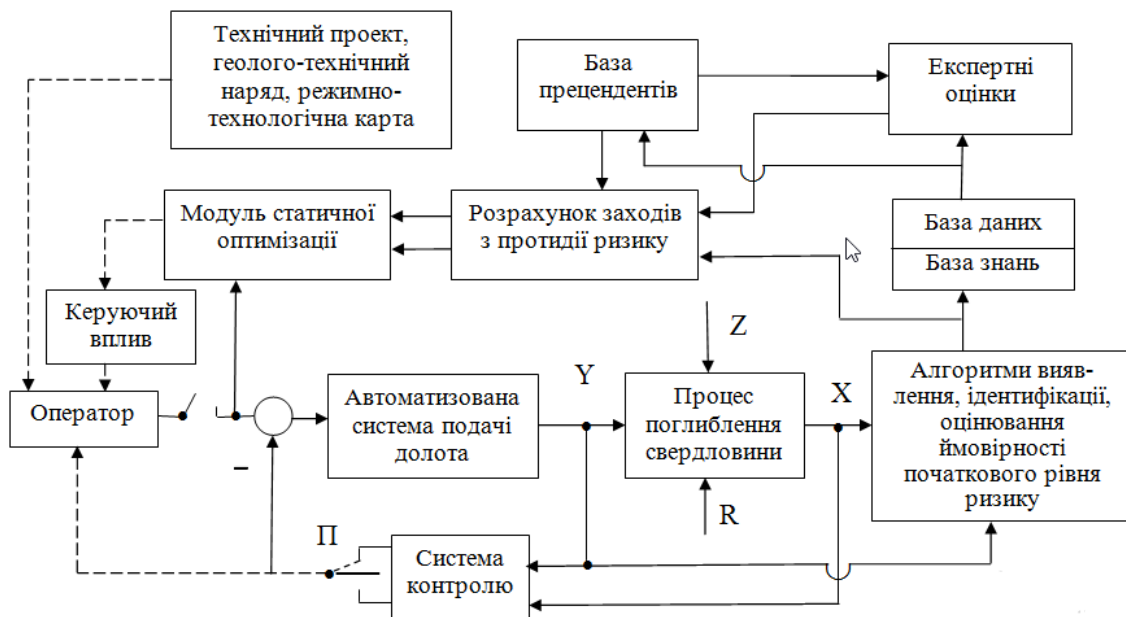


Рис. 1. Структура системи підтримки прийняття рішень для управління специфічними технологічними ризиками у процесі поглиблення свердловин: П – перемикач керованої величини

Джерело: авторська розробка



Якщо завдання щодо управління специфічними технологічними ризиками виконати неможливо, тоді усі інші види робіт на буровій стають економічно неефективними. Водночас, кожному факту усунення аварійної ситуації відповідає певна оцінка виконаних робіт, тобто витрати на усунення K -ої нештатної ситуації.

Висновки. Наукові результати, що отримані під час досліджень, є внеском у методологію побудови систем підтримки прийняття рішень для управління специфічними технологічними ризиками у процесі поглиблення нафтових і газових свердловин.

Досліджено характеристики придатності методів оцінювання ризиків, що передбачені міжнародним стандартом, і когнітивних методів. Запропоновано математичну постановку задачі розпізнавання нештатних ситуацій у динаміці функціонування процесу буріння. Застосування цих методів обумовлено тим, що специфічні технологічні ризики у бурінні не формалізовані і має місце неточність і недостовірність, неповнота, невизначеність і суперечливість інформації в умовах апріорної та поточної невизначеності щодо параметрів і структури об'єкта керування. Водночас для ефективного застосування методів Fuzzy Neural Networks-технологій немає потреби дотримання гіпотези про стаціонарність досліджуваних часових рядів або незмінність зовнішніх збурень. Вони дають змогу автоматично налаштовувати параметри моделей з урахуванням кількісних та якісних факторів ризику, а також враховувати взаємозв'язки різних видів специфічних технологічних ризиків.

Література:

1. Ланкина С.А. Классификация и проблемы оценки рисков промышленного предприятия [электронный ресурс] / С.А.Ланкина, В.И.Флегантов // Интернет-журнал «Науко-ведение». – 2015. – том.7, №3. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/90EVN315.pdf>.
2. Nechaev A. Identification and management of the enterprise innovative activity risks / A. Nechaev, A Prokoptseva // Economic Amals-XXI. – 2014. - №5-6. – P.72-75.
3. Каверіна Н.О. Науково-методичні підходи до аналізу та оцінки ризиків інноваційної діяльності [електронний ресурс] / Н.О.Каверіна // Scientific Journal “ScienceRise”. – 2014, том 5, № 3 . – С.74-75. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/gpaf/text_2014_5\(3\)_11.pdf](http://nbuv.gov.ua/gpaf/text_2014_5(3)_11.pdf).
4. Панягина А.Е. Обзор современных методов количественной оценки рисков [Электронный ресурс] / А.Е.Панягина // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2014, № 3. – Режим доступу: <http://ekonomika.snauka.ru/201/03/3966>.
5. Булнов В.П. Управление рисками(рискология) / В.П.Булнов, К.А.Кирсанов, Л.А.Михайлов. – М.:Экзамен, 2002. – 384 с.
6. Смоляк В.А. Алгоритмізація процедури оцінки ризику діяльності підприємств / В.А.Смоляк // Управління розвитком. – 2004, №2. – С.104-105.
7. Немченко М.Ю. Методический подход к оценке рисков нефтегазодобывающих предприятий / М.Ю.Немченко / Экономические науки. –



2009, № 10. С.382-385.

8. ISO/IEC31010^2009 “Risk management_Risk assessment techniques” (IDT)-2009. – Режим доступу: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51073

9. Мазуров А.Ю. Диссипативность стохастических систем с функцией накопления, чувствительной к рискам и робастная h_∞ -стабилизация; доп. XV міжнар.конф. з автоматизованого управління «Автоматика–2008», м.Одеса, 23-26 вересня 2008 р. / А.Ю.Мазуров, П.В.Пакшин. – С.336-338.

10. Гожий В. Нечіткий когнітивний аналіз ризиків при тестуванні програмного забезпечення / В.Гожий // Lviv Polytechnic National Unverdity institutional Repository. – 2015. – С.372-379.

11. Осипов Д. Система управление рисками. [Электронный ресурс] / Д.Осипов. – Режим доступа: <http://www.old.reb.ru/Archive/articles.asp?id=1612>.

12. Axelrod R. The structure of Decision: Cognitive Mars of Political Elites /R.Axelrod. – Princeton, NI: Priceton University Press, 1976. – 405 p.

13. Федулов А.С. Нечеткие реляционные когнитивные карты / А.С.Федулов // Теория и системы управления. – 2005, № 1. – С.120-133.

14. Силов В.Е. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В.Е.Силов. – ИНПРО-РЕС, 1993. – 228 с.

15.Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В.Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М: Горячая линия, 2012. – 284 с.

16. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps / К.Kosko // International Jurnal of Man-Machine Sudies.-1986.vol.1. – P.65-75.

17. Акопов А.С. Использование средств динамического нестационарного моделирования для підготовки управленческих решения в ТЭЖ / А.С.Акопов // Системы управления и информационные технологи. – М.:. – 2001, №4. – С.51-56.

18. Zgurovsky M.Z. System analysis: Theory and Applications / M.Z.Zgurovsky, N.D.Dankratova. – Springer, 2007. – 475 p.

19. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І.Горбійчук, Г.Н.Семенцов. – Івано-Франківськ: Факел. – 2003. – 493 с.

20. Семенцов Г.Н. Автоматизований контроль меж пластів гірських порід у процесі буріння свердловин на нафту і газ / Г.Н.Семенцов, Я.Р.Когуч . – Івано-Франківськ. – 1998. – 204 с.

21. Цыганков М.П. Структурная организация функціонального диагностирования в мехатронных системах / М.П.Цыганков, И.В.Тюкин // Мехатроника. – 2001, №9. – С.12-17.

22. Долгова Е.В. Распознавание ситуаций при управлении материальными потоками предприятия / Е.В.Долгова, Р.А.Файзрахманов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика - 2005. № 5. – С/60-62.

23. Ладанюк А.П. Системний аналіз складного об'єкта у задачах діагностики та координації / А.П.Ладанюк, Л.О.Власенко, Н.А.Заєць // Автоматизація виробничих процесів. – 2006, №2. – С.44-47.

24. Климов И.Н. Метод оценивания рисков чрезвычайных ситуаций природного происхождения в распределенной системе центров Мониторинга /



И.Н.Климов // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: сб.науч.тр. – Харьков, 2011, вып. 154. –С. 53-61.

1. Lankina S.A. (2015). Klassifikatsiya i problemy otsynki riskov promyshlennogo predpriyatiya [Classification and problems on the risk of industrial enterprise risks] [electronic resource] in Internet-journal Nauko-vedeniye [Science Management], issue №3. - Access mode: <http://naukovedenie.ru/PDF/90EVDN315.pdf>.
2. Nechaev A. (2014). Identification and management of the innovative business activity in Economic Amals-XXI, issue№5-6, pp.72-75.
3. Kaverina N.O. (2014). Naukovo-metodychni pidkhody do analizu ta otsinky ryzykiv innovatsiynoyi diyal'nosti [Science-methodical approaches to analysis and evaluation of the risks of innovation and social activity] [electronic resource] in Scientific Journal ScienceRise, volume 5, number 3, pp. 74-75, access mode: [http://nbuv.gov.ua/gpaf/text_2014_5\(3\)_11.pdf](http://nbuv.gov.ua/gpaf/text_2014_5(3)_11.pdf).
4. Panyagin A.E. (2014). Obzor sovremennykh metodov kolichestvennoy otsenki riskov [Review of modern methods of quantitative risk assessment] [Electronic resource] in Ekonomika i menedzhment innovatsionnykh tekhnologiy [Economics and management of innovative technologies], issue № 3, access mode: <http://ekonomika.snauka.ru/201/03/3966>.
5. Bulnov V.P. (2002). Upravleniye riskami(riskologiya) [Risk management (riskology)], 384 p.
6. Smolyak V.A. (2004). Alhorytmizatsiya protsedury otsynki ryzyku diyal'nosti pidpryyemstv [Algorithmically procedurally evaluating the riziku of the spirit of the company] in Upravlinnya rozvytkom [Managing distribution], issue №2, pp.104-105.
7. Nemchenko M.Yu. (2009). Metodicheskiy podkhod k otsenke riskov neftegazodobyvayushchikh predpriyatiy [Methodical approach to risk assessment of oil and gas companies] in Ekonomicheskiye nauki [Economics], issue 10, pp.382-385.
8. ISO / IEC31010 ^ 2009 “Risk management_Risk assessment techniques” (IDT) -2009. - Access mode: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51073
9. Mazurov A.Yu. (2008). Dissipativnost' stokhasticheskikh sistem s funktsiyey nakopleniya, chuvstvitel'noy k riskam i robustnaya h ∞ -stabilizatsiya; dop. XV mizhnar.konf. z avtomatizovanogo upravlinnya [Dissipativity of stochastic systems with a risk-sensitive accumulation function and robust h ∞ -stabilization; additional XV mecnar.conf. From the automated control] in Avtomatika–2008, pp.336-338.
10. Gozhiy V. (2015). Nechitkyy kohnityvnyy analiz ryzykiv pry testuvanni prohramnoho zabezpechennya [Fuzzy cognitive analysis of risks in testing software] in Lviv Polytechnic National Unverdity institutional Repository, pp.372-379.
11. Osipov D. Risk Management System. [Electronic resource] Access mode: <http://www.old.reb.ru/Archive/articles.asp?id=1612>.
12. Axelrod R. The structure of the Decision: Cognitive Mars of Political Elites /R.Axelrod. - Princeton, NI: Priceton University Press, 1976. - 405 p.
13. Fedulov A.S. Nechetkiye relyatsionnyye kognitivnyye karty [Fuzzy relational cognitive maps] in Teoriya i sistemy upravleniya [Theory and control systems]. issueNo. 1, pp.120-133.
14. Silov V.E. (1993). Prinyatiye strategicheskikh resheniy v nechetkoy obstanovke [Making strategic decisions in a fuzzy environment], 228 p.
15. Borisov V.V. (2012). Nechetkiye modeli i seti [Fuzzy models and networks], 284 p.
16. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps / K.Kosko // International Jurnal of Man-Machine Sudies.-1986.vol.1. - P.65-75.
17. Akopov A.S. (2001). Ispol'zovaniye sredstv dinamicheskogo nestatsionarnogo modelirovaniya dlya pidgotovki upravlencheskikh resheniya v TEK [The use of dynamic unsteady modeling tools for training management decisions in the fuel and energy sector] in [Control Systems and Information Technologists] issue№4, pp.51-56.
18. Zgurovsky M.Z. System analysis: Theory and Applications / M.Z.Zgurovsky, N.D.Dankratova. - Springer, 2007. - 475 p.



19. Gorbiychuk M.I. (2003). Optymizatsiya protsesu burinnya hlybokykh sverdlovyh [Optimization of the process of glybocaus sverdlovins], 493 p.
20. Sementsov G.N. (1998). Avtomatyzovanny kontrol' mezh plastiv hirs'kykh porid u protsesi burinnya sverdlovyh na naftu i haz [Automation of the control between the plastics of the mountainous portions of the process of boring sverdlovin naphtha and gas], 204 p.
21. Tsygankov M.P. (2001). Strukturnaya organizatsiya funktsional'nogo diagnostirovaniya v mekhatronnykh sistemakh [Structural organization of functional diagnostics in mechatronic systems] in Mekhatronika [Mechatronics], issue№9, pp.12-17.
22. Dolgova E.V. (2005). Raspoznavaniye situatsiy pri upravlenii material'nymi potokami predpriyatiya [Detection of situations in the management of material flows of an enterprise] in Instruments and systems. Management, monitoring, diagnostics, issueNo.5, pp. 60-62.
23. Ladanyuk A.P. (2006). Systemnyy analiz skladnoho ob'yekta u zadachakh diahnostyky ta koordynatsiyi [System analysis of folding ob'akta in problems of diagnostics and coordination] in Automation of production processes, issue№2, pp.44-47.
24. Klimov I.N. (2011). Metod otsenivaniya riskov chrezvychaynykh situatsiy prirodnoho proiskhozhdeniya v raspredelennoy sisteme tsentrov Monitoringa [The method of risk assessment of emergency situations of natural origin in a distributed system of Monitoring Centers] in Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pribory avtomatiki: sb.nauch.tr. [Automated control systems and automation devices: collected scientific works], issue№154, pp. 53-61.

Abstract. *The paper substantiates and demonstrates the necessity of building a decision support system for controlling specific technological risks in the process of deepening wells. The essence of the notion "technological risks" is investigated and specified, its main types are determined. Classification of risk assessment methods is presented. The characteristics of the suitability of the methods for assessing the risks provided by the international standard and the cognitive methods are investigated. The mathematical setting of the problem of recognition of unusual situations in the dynamics of the drilling process functioning is proposed. On the example of the process of oil and gas well drilling, a mechanism for using risk assessment methods to control specific technological risks in the process of deepening wells has been explored. A concrete structure of the decision support system for managing specific technological risks in the process of deepening of wells is proposed. The necessity of application in identifying, identifying and evaluating specific technological risks, methods of Fuzzy Logic and artificial neural networks is substantiated.*

Key words: *automated control, decision support system, deepening of wells, specific technological risks.*

Статья отправлена: 04.03.2019 г.

© Семенов Г.Н.