

## НОВІТНІЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ФОРМУВАННЯ ВИТРАТ НА БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

У статті розглянуто новітній підхід до управління процесом формування витрат на буріння нафтових і газових свердловин, що ґрунтується на використанні фазі-моделі собівартості будівництва свердловин. Доведено, що це дає змогу значно покращити організацію та управління процесом будівництва свердловин. Показано, що поточна ситуація у нафтогазовидобувній галузі вимагає створення інтелектуальних самонавчальчих систем управління, які повинні ґрунтуватися на використанні проблемно-орієнтованих експертних систем реального часу і фазі-алгоритмів управління. Обґрунтовано принципи побудови таких систем, для яких основними функціями є функції оцінювання та прогнозування економічних показників процесу буріння. Наведено класифікацію математичних методів прогнозування та їх характеристику. Нечітка ситуація при бурінні свердловин ідентифікована та використана для прогнозування характеру зміни собівартості метра проходки свердловини. За основу цього взято базу правил Мамдані-типу, що витікають з лінгвістичних знань щодо процесу буріння. Доведено, що застосування фазі-логіки дає змогу здійснювати достовірне прогнозування в умовах випадковості та нечіткості процесів.

Ключові слова: процес, формування витрат, нечітка логіка, функції належності, прогнозування, управління, база евристичних правил, бурові підприємства.

I. G. FADYEYEVA

Ivano- Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

## THE NEWEST APPROACH TO MANAGING THE PROCESS OF FORMING THE COST-PRICE OF OIL AND GAS WELL-DRILLING

The paper considers a new approach to managing the forming of oil and gas well-drilling costs, based on the fuzzy-models of wells-construction costs. Proved that it allows to significantly improve the organization and management of well construction. It is shown that the current situation in oil and gas industry requires the development of intelligent self-teaching management system which should be based on the using of problem-based expert systems and real-time fuzzy control algorithms. The principles for building such systems, for which the basic functions are functions of evaluation and forecasting economic performance drilling process are substantiated. The classification of mathematical forecasting techniques and their characterization are proposed. Unclear situation during drilling is identified and used to predict the nature of changes in the cost of 1 m well-drilling. As the basis of this framework Mamdani-type rules, that stem from the linguistic knowledge of the drilling process, are taken. It is proved that the use of fuzzy-logic enables you to make accurate prediction in terms of randomness and fuzziness of processes.

Keywords: process, costs forming, fuzzy-logic, membership function, forecasting, control, base of heuristic rules, drilling company.

### Вступ

Процес буріння нафтових і газових свердловин є важливим та економічно вагомим для нафтогазовидобувних корпорацій. Відомо, що буріння свердловин з морських платформ і на суходолі є найважливішим засобом пошуку і розвідування родовищ вуглеводнів [1]. Без нього не може обійтися жодна стадія геологорозвідувальних та видобувних робіт. Головним завданням процесу буріння є спорудження свердловин у найкоротший термін з найменшими витратами. Галузь глибокого буріння є складною системою з точки зору управління, оскільки на ефективність управління впливає велика кількість природних, економічних, соціальних та суб'єктивних чинників.

Подальший розвиток нафтогазовидобувного сегменту економіки України характеризується зростанням обсягів пошуково-розвідувального та експлуатаційного буріння свердловин. При цьому спостерігається тенденція збільшення глибини свердловин, буріння яких відбувається роторним способом, турбобурами та електробурами з використанням шарошкових та алмазних доліт нового покоління. Якщо нове покоління трьох шарошкових доліт забезпечує проходку на одне долото до 2000 м, то алмазні долота – до 6000 м. Одним таким долотом розбурюються декілька різнорідних шарів гірських порід, що вимагає уточнення математичної моделі родовища та визначення нових керувальних дій для наступного інтервалу буріння.

Проте відомі методи управління процесом буріння нафтових і газових свердловин не відповідають сучасному рівню автоматизації та інформатизації бурових підприємств. Це обумовлено тим, що невідтворюваний процес буріння є нелінійним, нестационарним, стохастично-хаотичним процесом, що розвивається у часі, та здійснюється за умов апріорної та поточної невизначеності параметрів, структури об'єкта і перебуває під впливом різного типу адитивних та мультиплікативних збурень.

Питання оцінювання та прогнозування собівартості буріння є одним з центральних при вирішенні проблеми оптимальної експлуатації техніки при бурінні нафтових і газових свердловин. Оскільки на даний час відсутні моделі собівартості буріння свердловин, які дозволяють оцінювати поточне значення собівартості метра проходки та прогнозувати собівартість буріння свердловини, то проблема дослідження

природи формування собівартості буріння та розробка методу її оцінювання і прогнозування на основі поточної інформації щодо процесу буріння має важливе значення для економіки України.

### Постановка проблеми

Проблема управління процесом формування витрат на буріння нафтових і газових свердловин, який відбувається за умов апіорної та поточної невизначеності і перебуває під впливом динамічних змін ринкового середовища, є однією з ключових у сучасній теорії управління нафтогазовидобувними підприємствами. Управління такими об'єктами ускладнюється тим, що нелінійність апіорі невідома, а її характер змінюється з часом. У зв'язку з цим протягом останніх десятиліть для вирішення завдань управління такими об'єктами все ширше застосовуються методи, що ґрунтуються на засадах обчислювального інтелекту. Саме вони відіграють важливу роль в управлінні нафтогазовидобувним бізнес-сегментом економіки, для якого характерні нелінійність, динамічність, відкритість, складна структура внутрішніх зв'язків, неоднозначність управлінських впливів та випадкових чинників. Оскільки нафтогазовидобувний сегмент економіки є системно-синергічною єдністю установ, які забезпечують усі види геологорозвідувальних робіт, буріння нафтових і газових свердловин, видобування вуглеводнів, їх технологічну підготовку, транспортування і зберігання, то його розвиток є запорукою енергетичної незалежності країни, формування передумов для створення нових робочих місць, активації суміжних галузей, науково-технічного прогресу. Бурові підприємства є особливими об'єктами, що потребують застосування специфічних методів управління з урахуванням виробничих, технологічних, економічних, управлінських, інформаційних та інших характеристик.

За умов високої ціни управлінських рішень, характерної для цих підприємств, виникає гостра необхідність в управлінні процесом формування витрат на основі новітнього підходу на засадах обчислювального інтелекту, який є новим напрямом в управлінській науці, що має на меті вирішення широкого кола завдань, котрі належать здебільшого до моделювання діяльності складних економічних систем, які характеризуються наявністю численних внутрішньо-системних зв'язків, у тому числі зворотних, перехресних та ієрархічних. Ці зв'язки породжують, як правило, нелінійний характер взаємозалежностей між окремими елементами економічної системи. Унаслідок цього управління діяльністю таких систем стає складним завданням, яке вимагає спеціального інструментарію, яким є методи теорії нечітких множин і нечіткої логіки.

### Аналіз стану досліджень та публікацій

Сучасний розвиток управління процесом формування витрат на буріння нафтових і газових свердловин здійснюється, головним чином, у напрямку створення та впровадження методів, технічних і програмних засобів автоматизації, які забезпечують зниження собівартості метра проходки і зменшення часу на будівництво свердловини. Резервом подальшого покращення результатів функціонування інтегрованих автоматизованих систем управління процесом буріння свердловин є впровадження технологій оптимального управління, які забезпечують найбільшу ефективність використання ресурсів. Що витрачаються на буріння глибоких свердловин. Аналіз наукових публікацій [2–10 та ін.] показав, що на сьогодні розроблені технологічні, техніко-економічні та економічні критерії управління бурінням, але їх можна застосовувати не на усіх глибинах свердловин, і тому вони потребують узгодження при застосуванні [14].

Оскільки формування управлінських дій в інтегрованій системі управління процесом буріння здійснюється за умов невизначеності параметрів і структури об'єкта управління та неповної інформації, великого значення набувають методи управління, які використовують теорію нечітких множин і нечітку логіку, а також методи прогнозування.

### Виділення невирішених частин

Аналіз літературних джерел [2–10 та ін.] показує недостатній обсяг поведених досліджень у контексті використання інформаційних технологій для управління процесом формування витрат на буріння глибоких нафтових і газових свердловин за економічними та техніко-економічними критеріями.

### Формування цілі

Метою даної роботи є висвітлення питань щодо необхідності і можливості застосування методів нечіткої логіки для управління процесом формування витрат на буріння нафтових і газових свердловин за техніко-економічним критерієм як одним із засобів досягнення синергетичного ефекту.

### Виклад основного матеріалу

Слід зазначити, що процес буріння свердловин є керованим, але число керуючих параметрів залежить від способу буріння [8, с. 3–5], що дає змогу стверджувати про його багатомірність. Процес буріння характеризується відповідними вхідними і вихідними параметрами та збурюючими впливами, які діють на нього. До вхідних параметрів належать [2, 14]: осьова сила на бурове долото  $P(t)$ ; швидкість обертання долота  $n_d(t)$ ; витрати  $Q(t)$  промивного агента та його якість (густина, умовна в'язкість, вміст твердої фази, показники лужних властивостей та ін.); час роботи  $t_b$  бурового долота на вибої свердловини; змінні  $\{A\}$ , які не залежать від режиму буріння. До цих змінних належать: ціна і тип долота, орендна плата за годину роботи бурової установки, глибина свердловини на початок чергового рейсу, тип колони бурильних труб, тип бурової установки та ін.

Значимо, що з перерахованих параметрів керованими є лише  $P(t)$ ,  $n_d(t)$ ,  $t_6$ . Витрати  $Q(t)$  промивного агента належать до частково керованих параметрів [3, с. 22–24].

Окрему групу параметрів утворюють збуджуючі впливи  $f(t)$ : коливання цін на енергоносії, хімреактиви, труби, електроенергію, фізико-механічні властивості порід та ін.

До вихідних показників, які залежать від вище названих входних впливів, належать [2, 3]: вартість метра проходки свердловини  $M(t)$ ; комерційна швидкість буріння  $V_K(t)$ ; швидкість механічного буріння  $V(t)$ ; проходка  $h_i(t_6)$  на долото в  $i$ -му рейсі; зношення озброєння  $\mu(t)$  і опір долота  $g(t)$ .

Ефективність процесу буріння оцінюють за вартістю метра проходки  $M$ , комерційною швидкістю буріння  $V_K$ , рейсовою швидкістю буріння  $V_p$ , механічною швидкістю буріння  $V$ , проходкою на долото  $h(t_6)$ :

$$B = \frac{B_0(t_6 + t_{cn}) + B_d}{h(t_6)}, \quad (1)$$

$$V_K = \frac{H720}{t_{6K}}, \quad (2)$$

$$V_p = \frac{h(t_6)}{t_6 + t_{cn}}, \quad (3)$$

$$V(t) = \frac{dh(t)}{dt}, \quad (4)$$

де  $B_0$  – вартість години роботи бурової установки;

$t_6$  – час буріння;

$t_{cn}$  – час, що витрачається на спуско-підймальні операції;

$t_{6K}$  – час роботи бурової установки;

$H$  – загальна проходка за визначений період часу;

720 – тривалість одного верстато-місяця буріння, год.;

$B_d$  – вартість бурового долота, яка досягає 200 000 євро для сучасних алмазних доліт;

$h(t_6)$  – проходка на долото, яка визначається за переміщенням верхнього кінця колони бурильних труб.

труб.

Структурна схема процесу буріння як об'єкта управління наведена на рис. 1. Проблема оптимального управління процесом буріння нафтових і газових свердловин включає вибір математичної моделі, обмежень, цільової функції та її алгоритмічну і технічну реалізацію. Вона була вперше сформульована у США Е.М. Galle і Н.В. Woods для буріння свердловин роторним способом [11].



Рис. 1. Структурна схема процесу буріння свердловин як об'єкта управління [4]

Найбільше виробниче застосування мають дві цільові функції: мінімізація загальної вартості будівництва свердловин  $\min:B_c$ ; мінімізація витрат часу на спорудження свердловин  $\min:T_c$  [5, с. 99–112]. Проведений аналіз свідчить, що застосування цих двох цільових функцій не призводить до суттєвих розбіжностей результатів оптимізації. Цей висновок можна пояснити тим, що в обох випадках досягається, по суті, одна і та ж мета – мінімізація витрат часу у черговому рейсі долота. Ці дві цільові функції значною мірою взаємопов'язані. Проте  $\min:B_c$  має ту перевагу, що враховує прямі економічні показники процесу [6, с. 20–29].

Слід зазначити, що практично усі відомі зарубіжні системи оптимального буріння, особливо морського [7, с. 26–35], обладнані потужними комп'ютерами для виконання оперативного управління процесом.

Отже, завдання оптимізації управління процесом буріння та розробка нових досконаліших критеріїв залишається актуальним. Актуальною залишається і проблема прогнозування економічних показників буріння нафтових і газових свердловин.

Аналізування сучасних наукових досліджень [1–10 та ін.] показало, що головними цілями аналізу економічних процесів є їх прогнозування на певний час у майбутньому; формування управлінських дій, завдяки яким можна отримати задані параметри на виході об'єкта, або через деякий час, або протягом

заданого проміжку часу та ін.; визначення взаємозв'язків між обраними параметрами процесу і їх вигляду; виявлення наявності взаємозв'язку між деякими процесами.

Не менш важливим для управління розвитком нафтогазовидобувних підприємств є прогнозування економічних процесів. Тому доцільно розглянути питання, пов'язані з прогнозуванням досліджуваного процесу на певний час у майбутньому.

Вибір терміну, на який складається прогноз показників залежить від обсягу необхідної для такого прогнозу інформації, від специфіки підприємства і загальних умов його функціонування. Чим більше можливостей для складання глибокого і ретельного прогнозу, тим триваліший термін може бути обраний для прогнозу. Проте слід враховувати, що віддалений прогноз дає менш якісний результат. Тому у міжнародній практиці прийнято обирати середній термін прогнозу тривалістю 10 років. В умовах нестабільної економіки доцільне скорочення даного терміну до п'яти років, або він повинен відповідати часу між виборами президента, коли є гарантія незмінного політичного і економічного курсу, а відповідно податкової і законодавчої бази. Разом з тим, конкретний термін прогнозного періоду може бути встановлений на основі особливостей господарської діяльності підприємства.

Аналізування літературних джерел [11–19 та ін.] засвідчило існування великої кількості методів, способів і методик прогнозування грошових потоків підприємств. Проте усі вони засновані переважно на двох підходах – евристичному і математичному. Деякі автори поділяють прогнозуючі моделі на якісні і кількісні.

Евристичний підхід заснований на використанні знань різних експертів у даній предметній області. Вибір експертів здійснюють за їх компетентністю у певних галузях інтересів. Важливе значення має встановлення кількості експертів, тому що зменшення їх кількості призводить до зниження точності оцінювання, а занадто велика кількість експертів впливає на ступінь узгодженості їхніх суджень. Методи експертних оцінок є досить поширеними і використовуються в умовах невизначеності, коли деякі чинники не піддаються вимірюванню, а також у випадках, коли їх розрахунок пов'язаний з великими труднощами. Вони є суб'єктивними і, як правило, використовуються для прогнозування процесів, формалізацію яких не можна провести до початку прогнозування. Перевагою цього підходу є те, що він дає змогу уникнути значних помилок, особливо щодо стрибкоподібних змін прогнозованої величини, що мають місце при прогнозуванні, наприклад, собівартості буріння пошуково-розвідувальних свердловин на нафту і газ, коли різко змінюються умови буріння [14, с. 17–21].

Обмеженість методів експертних оцінок проявляється у тому, що у них присутній суб'єктивний фактор і, відповідно, можливість помилкового судження. Часто буває, що експерт формує свою думку на основі неусвідомлених суб'єктивних переваг, внутрішнього світогляду, який склався протягом усього життя експерта. Іноді експерт ігнорує нові факти і гіпотези, які суперечать світогляду експерта і не вписуються у його науковий світогляд. Крім того, експерт знаходиться під впливом колективної думки і популярних теорій, що може призвести до хибного експертного висновку. Математичний підхід до прогнозування є найбільш застосовуваним, оскільки забезпечує об'єктивність одержуваної інформації, високу точність, дає змогу автоматизувати процес прогнозування. Залежно від виду математичного опису об'єктів прогнозування і способів визначення невідомих параметрів моделі у літературі [11, с. 121–122; 15, с. 62–64] математичні методи прогнозування умовно поділені на методи моделювання процесів руху (розвитку) і екстраполяції (статистичні методи) (рис. 2).

Проте математичні методи прогнозування вимагають наявності чітко сформульованої математичної моделі поведінки прогнозованого процесу або об'єкта. Якщо математична модель адекватно описує поведінку прогнозованого об'єкта, тоді можна очікувати прийнятних результатів прогнозування.

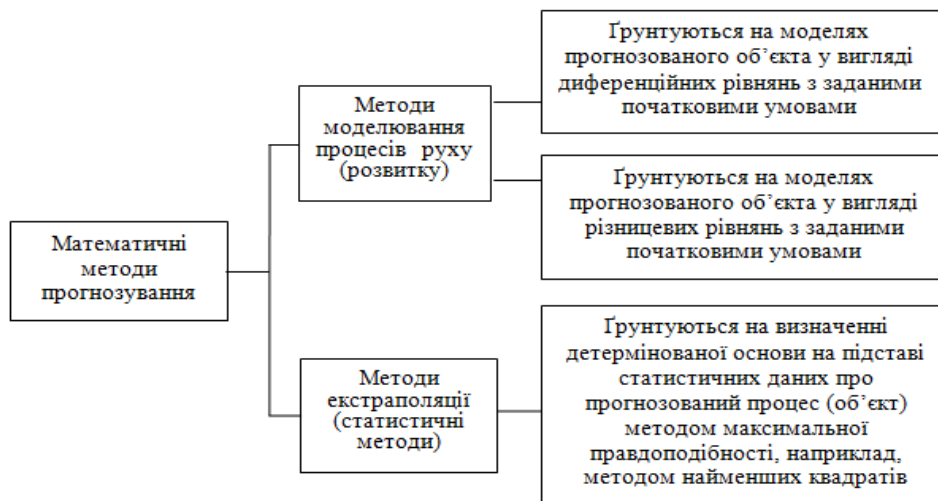


Рис. 2. Класифікація математичних методів прогнозування (сформовано автором на основі джерел [11, 16])

Методи прогнозування залежать також від наявності ретроспективної інформації щодо об'єкта, мети прогнозування, інтервалу прогнозу, наявності різного роду завад, властивостей прогнозованого об'єкта та ін. [16, с. 41–48].

Методи обробки просторово-часових сукупностей суттєво відрізняються за складністю алгоритмів, що використовуються під час прогнозування за трендовими моделями, адаптивними моделями, моделями типу авторегресії, а також за допомогою ковзного середнього.

Припущення щодо лінійності регресії є малореалістичним. Тому зарубіжні дослідники Engle Robert F. та Bollerslev T. розробили сукупність методів ARCH [18, с. 987–1007] і GARCH [17, с. 307–327], у яких припустили, що процес, який прогнозується, стає нестационарним, тому в алгоритмі прогнозується не тільки шуканий параметр, але й параметри розподілу помилки прогнозу.

Розвитком методів ARCH і GARCH є технологія, побудована на використанні штучних нейронних мереж, коли система прогнозування автоматично оцінює параметри регресії і мінімізує функції помилки. З існуючих наукових досліджень відомо [19], що іноді для навчання фінансових штучних нейронних мереж використовуються навіть астрологічні прогнози.

Проте методи ARCH і GARCH та побудовані на їх основі фінансові нейронні мережі перестають бути ефективними, коли досліджувана економічна система зазнає так званого епістемологічного парадигмального розриву [18], тобто коли у зв'язку з різкою зміною економічних тенденцій уся накопичена історія стає непридатною для прогнозування. У таких випадках для прогнозування тенденцій підсистеми А.О. Недосекіним [20] запропоновано використовувати дані підсистеми, яка не має парадигмального розриву, і застосувати методологію нечіткої логіки. Ця методологія була також запропонована нами для управління підприємством і формуванням витрат підприємства у [14, с. 17–21].

Трикутні нечіткі функції належності було запропоновано використовувати для представлення оціночного інтервалу у вигляді нечіткого числа і побудови нечіткого групового методу опрацювання даних (ГМОД) на основі лінійної інтервальної регресивної моделі [21, с. 251]. Метод ГМОД був запропонований А.Г. Івахненко [21, с. 294] для моделювання великих нелінійних економічних систем, у яких тісно переплетені різномірні змінні. Цей метод не вимагає апріорних знань щодо структури системи, але дає змогу моделювати нелінійну систему на основі принципу евристичної самоорганізації за вхідними і вихідними даними. Нечіткий ГМОД ототожнює параметри моделі з нечіткими числами, що дозволяє застосувати його для моделювання нечітких явищ і їх прогнозування [21, с. 296].

Враховуючи, що процес буріння є нестационарним, нелінійним, не відтворюваним та розвивається у часі і протікає в умовах апріорної та поточної невизначеності, обумовленої зміною умов буріння, запропоновано доповнити структуру класичної системи спостереження адаптуючою фазі-моделлю собівартості 1 метра проходки [22], яка дає змогу компенсувати не лінійності та вдосконалити оцінку собівартості метра проходки свердловини в режимі on-line.

Нечітка ситуація при бурінні свердловини ідентифікована і використана для прогнозування характеру зміни собівартості метра проходки свердловини  $M(x)$  за допомогою бази правил Мамдані-типу, що витікають з лінгвістичних знань щодо процесу буріння у вигляді [23]:

Р: ЯКЩО  $A_1, \dots, A_n$ , ТО  $B_1, \dots, B_m$  ІНАКШЕ С,

де  $A_1, \dots, A_n$  – перелік умов (антецеденти);

$B_1, \dots, B_m, C$  – перелік дій (консеквенти).

Використання фазі-логіки дає змогу здійснювати прогнозування  $M(x)$  у процесі буріння свердловин в умовах невизначеності (випадковості та нечіткості), оскільки:

– має місце значна кількість чинників і показників процесу буріння, які повинні враховуватися у математичній моделі;

– неможливо побудувати ефективну математичну модель для економічної задачі, що поставлена в умовах апріорної та поточної невизначеності щодо структури та параметрів об'єкта;

– задача прогнозування собівартості метра проходки не розв'язується класичними математичними методами.

Застосування фазі-логіки передбачає наступні етапи:

Формалізація поставленої задачі: визначення змінних.

Приведення у відповідність лінгвістичного опису до конкретних фізичних значень параметрів.

Розробка бази правил, що визначають стратегію прогнозування.

Ввід початкових правил і визначення методу дефазифікації вихідних даних.

Інтерактивний аналіз моделі з використанням промислових даних, або за допомогою програмної моделі об'єкта.

Реалізація розробленого методу.

Перший етап використання фазі-логіки ґрунтується на досвіді і знаннях експертів. Кількість термів, за допомогою яких експерти оцінювали собівартість метра проходки свердловини  $M(x)$ , прийнята рівною п'яти: дуже мала (VS), менша норми (S), більша норми (B), дуже велика (VB). Контрольованими параметрами є: осьове навантаження на долото, швидкість обертання долота, які є керуючими впливами, та проходка долота  $h_p$  і час буріння  $t_b$ , що є показниками процесу буріння. Вони пов'язані між собою функціонально [24].

За результатами спостережень визначаються такі показники: собівартість метра проходки свердловини ( $M_x$ ), критичне осьове навантаження на долото, зміна сил опору порід, поступання долота у зону з аномально високим пластивим тиском та ін. На підставі висновків експертів та ретельного вивчення літератури [25] отримано такий лінгвістичний опис процесу буріння свердловин на нафту і газ:

осьове навантаження на долото обмежене певними межами  $50 \leq P \leq 400$  кН, швидкість обертання долота  $0,25 \leq n \leq 5$  об/с. Інакше результати спостережень не є коректними;

критичний знос озброєння шарошкового або алмазного долота характеризується різними межами швидкості буріння та зростанням собівартості метра проходки свердловини;

критичний знос опор шарошкового долота характеризується збільшенням моменту на долоті, зменшенням швидкості буріння та зростанням собівартості метра проходки свердловини;

можливість аварійної ситуації характеризується різким зменшенням швидкості буріння та зростанням собівартості проходки метра свердловини;

поступання долота у зону з аномально високим пластивим тиском характеризується зростанням швидкості буріння та зменшенням собівартості проходки метра свердловини;

поступання долота у продуктивний пласт характеризується зростанням швидкості буріння та зменшенням собівартості проходки метра свердловини;

зміна меж пластів гірських порід із збільшенням глибини свердловини характеризується різким зростанням моменту на долоті.

Цей опис є основою для розробки бази правил Мамдані-типу у вигляді спеціальних евристичних правил, що витікають з лінгвістичних знань, і описують залежність собівартості метра проходки свердловини ( $M_x$ ) від часу буріння  $t_b$  та проходки  $h_p$ , протягом одного рейсу. Повна база правил Мамдані-типу для  $M(x)$  наведена у таблиці 1 та на рис. 3.

Таблиця 1

Повна база правил Мамдані-типу для  $M_x$

$t_b$	$h_p$				
	VS	S	M	B	VB
VS	VB	B	VS	VS	VS
S	VB	B	S	S	VS
M	VB	B	M	S	VS
B	VB	B	B	S	S
VB	VB	VB	B	B	B

У базі правил складні правила об'єднані min-оператором (фазі «та»), прості правила об'єднані max-оператором (фазі «або»). У моделі поточні вхідні дані є чіткими величинами. Це враховано при моделюванні функцій належності параметрів, що входять до нечітких правил-продукцій, були побудовані методом статистичної обробки експертної інформації. Математична формалізація експертних знань, покладених в основу моделі, здійснена в рамках теорії нечітких множин.

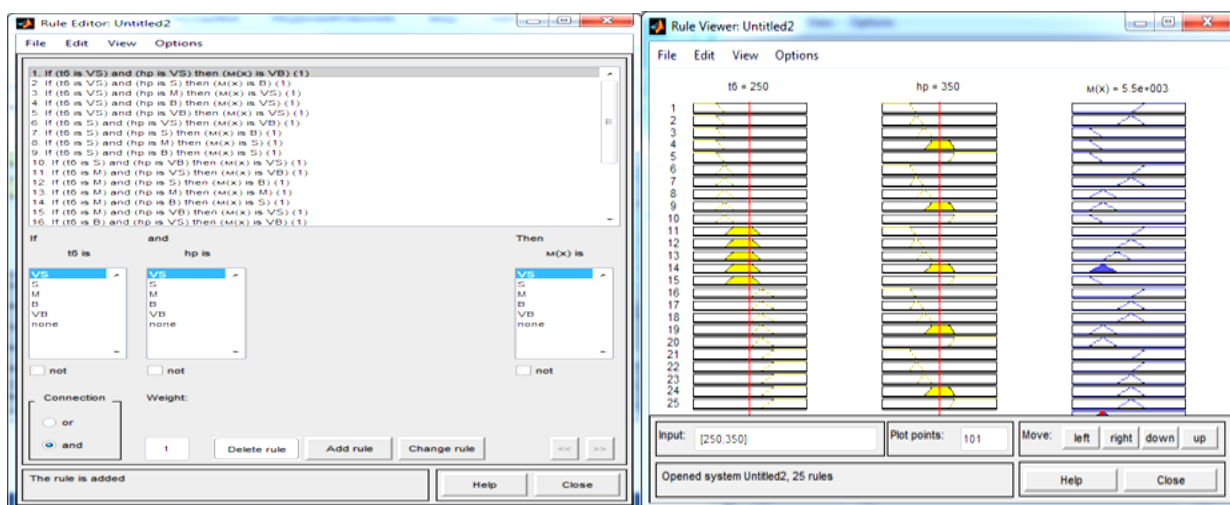


Рис. 3. Формування повної бази правил Мамдані-типу для  $M_x$  у середовищі Matlab

У результаті обробки експертної інформації за допомогою програмного середовища Matlab були отримані фазі-графіки функцій належності для кожного параметра, які наведені на рис. 4.

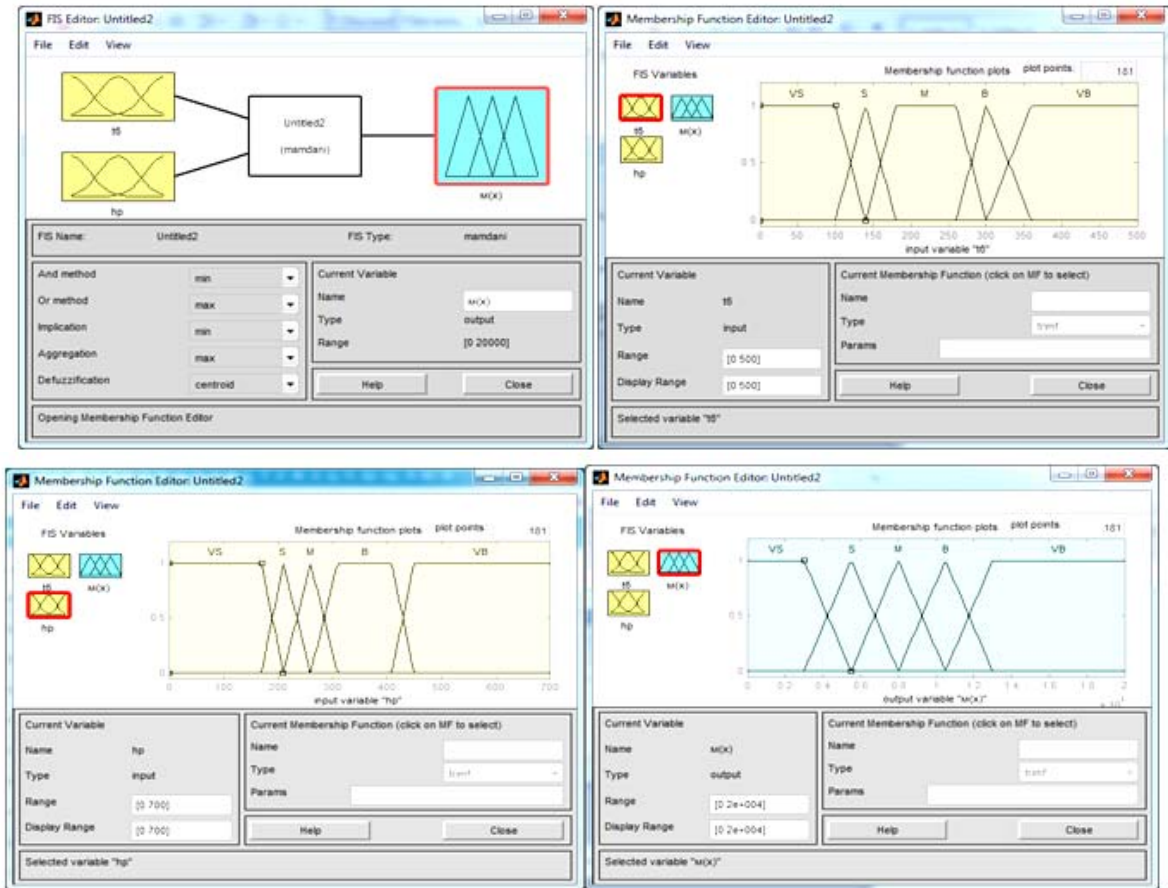


Рис. 4. Функції належності для вхідних змінних  $t_0, h_p$  і вихідної змінної  $M_x$

Шляхом застосування методу прямого моделювання у тривимірному просторі побудовано графік залежності  $M(x) = f(t_0, h_p)$  (рис. 5).

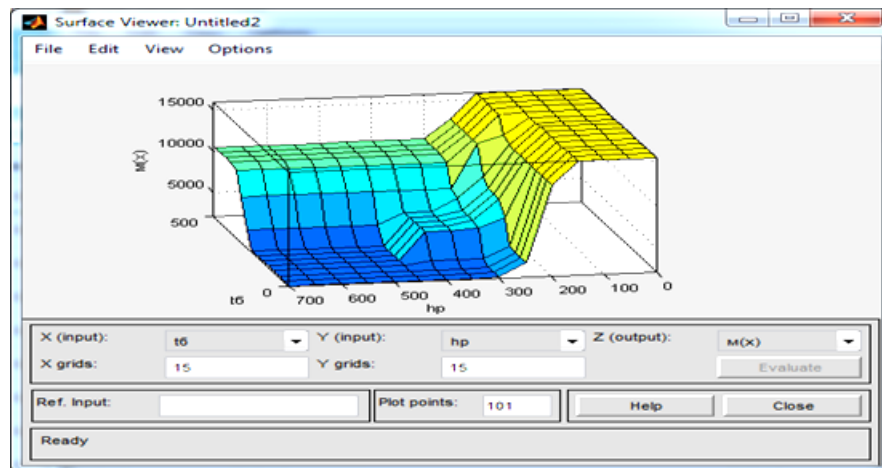


Рис. 5. Графік залежності  $M(x) = f(t_0, h_p)$  у тривимірному просторі

Аналіз моделі показує, що собівартість метра проходки  $M(x) = f(t_0, h_p)$  є суттєво залежною від параметрів режиму буріння  $t_0$  та  $h_p$  і ця функція має мінімум.

Отже, ситуація у бурінні свердловин вимагає створення інтелектуальних само навчаючих систем управління, які повинні ґрунтуватися на використанні проблемно-орієнтованих експертних систем реального часу і фазі-алгоритмів управління. принципами побудови таких систем, синтез їх архітектури, визначення обсягів інтелектуальних функцій на кожному рівні управління, формування відповідних баз даних та баз знань, побудова математичних моделей.

## Висновок

Використання фазі-моделі собівартості метра проходки свердловини дає змогу значно покращити організацію та управління процесом будівництва нафтових і газових свердловин. Розглянута модель може бути використана не тільки для буріння свердловин на нафту і газ, але і для буріння на тверді корисні копалини і воду, оскільки вона відображає причинно-наслідкові зв'язки між керуючими впливами і собівартістю будівництва свердловини.

## Література

1. Энергетична стратегія України на період до 2030 року : [зі змінами і доп., внесеними розпорядженням Міністерства палива та енергетики України від 26 березня 2008 року] [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.search.ligazakon.ua/1>
2. Козловский Е.А. Автоматизация управления геологоразведочным бурением / Е.А. Козловский. – М. : Недра, 1991. – 215 с.
3. Барановський М.І. Економічна оцінка доцільності буріння нафтових свердловин / М.І. Барановський, Г.І. Бурикїна, І.І. Музичко // 36. наук. праць за матеріалами VI-ї міжнар. наук.-практ. конф. [«Нафта і газ України-2000»]. – Івано-Франківськ : Факел, 2000. – С. 379–380.
4. Гутак О.В. Актуальні проблеми керування нелінійними динамічними об'єктами нафтогазовидобувної галузі промисловості / О.В. Гутак, Г.Н. Семенцов // Прогр. і матеріали міжнар. наук.-техн. конф. [«Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технологічними комплексами»], 26–27 листопада 2009 р. – К. : НУХТ, 2009. – С. 29–30.
5. Данилюк М.О. Моделювання собівартості метра проходки свердловини на основі методів нечіткої логіки / М.О. Данилюк, І.Г. Фадеєва // Економіка: проблеми теорії і практики. – Дніпропетровськ : ДНУ. – 2005. – Вип. 204. – С. 99–112.
6. Фадеєва І.Г. Обґрунтування комплексу факторів, необхідних для оперативного оцінювання собівартості метра проходки свердловин / І.Г. Фадеєва, Б.І. Пернеровський // *Materialy VIII miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji [«Naukowa mysl informacyjnej powieki-2012»]*, volum 8, *Ekonomiczni nauki, (Przemysl, 7–15 marca 2012 r.) / Przemysl: Nauka i studia*, 2012. – С. 20–29.
7. Chawathe A. A Plan for Success in Deep Water / A. Chawathe, U. Ozdogan, K.S. Glaser, Y. Jalali, M. Riding // *Oilfield Review: Schlumberger*. – spring 2009. – P. 26–35.
8. Саидов А.А. Основные аспекты совершенствования методики нормирования расхода электроэнергии в бурении / А.А. Саидов, В.И. Старостин, Л.Г. Гузов, С.А. Слесаренко // НТИС, ВНИИОЭНГ, Сер. Экономика и управление нефтяной промышленности. – 1989. – Вып.11. – С.10–14.
9. Хакімов Л.З. Оптимальні витрати промивної рідини для буріння свердловин долотами D=215,9 мм / Л.З. Хакімов // *Нафтова і газова промисловість*. – 2003. – № 4. – С. 22–24.
10. Нестерова Т.Н. Информационное обеспечение снижения рисков и затрат в бурении / Т.Н. Нестерова, С.Н. Чебанов // *Бурение и нефть*. – 2003. – № 10. – С. 39–41.
11. Бодянский Е.В. Прогнозирование нелинейных временных рядов в условиях структурной неопределенности / Е.В. Бодянский, С.В. Попов, А.Н. Слипенченко // Сборн. научн. трудов; 10-я Междунар. конф. по автоматическому управлению [«Автоматика 2003»], г. Севастополь, 2003 г. – Севастополь : Изд-во Сев.НГУ, 2003. – С. 121–122.
12. Волошин А.Ф. Методы и системы качественного прогнозирования экономических макропараметров на основе многопараметрических зависимостей / А.Ф. Волошин // Тезисы докл. XV Міжнар. конф. з автоматичного управління [«Автоматика 2008»]. – Одеса : ОНМА, 2008. – С. 104–105.
13. Романенко В.Д. Прогнозирование динамических процессов на основе математических моделей в пространстве состояний с разнотемповой дискретизацией / В.Д. Романенко, А.А. Реутов // Тезисы докл. XV Міжнар. конф. з автоматичного управління [«Автоматика 2008»]. – Одеса : ОНМА, 2008. – С. 484–487.
14. Фадеєва І.Г. Постановка задачі прогнозування собівартості буріння нафтових і газових свердловин за допомогою штучних нейронних мереж / І.Г. Фадеєва // [«Dynamika naukowych badan-2009»]: V miedzynar. nauk.-prakt. конф., 7–15 lipca 2009 r.: materialy dop. – *Przemysl : Nauka I Studia*, 2011. – С. 17–21.
15. Бодянский Е.В. Динамическая реконструкция хаотических сигналов на основе нейросетевых технологий / Е.В. Бодянский, И.П. Плисс, А.П. Чапланов // *Радиоэлектроника и информатика*. – 2002. – № 3(20). – С. 62–64.
16. Чепенко Т.Е. Методы прогнозирования временных рядов на основе искусственных нейронных сетей с элементами временной задержки / Т.Е. Чепенко // *Автоматизированные системы управления и приборы автоматки*. – 2001. – Вып. 157. – С. 41–48.
17. Bollerslev T. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity / T. Bollerslev // *Journal of Econometrics*. – 1986. – Vol. 31. – P. 307–327.
18. Engle Robert F. Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation / F. Robert Engle // *Econometrica*. – 1982. – Vol. 50. – P. 987–1007.
19. Назаров А.В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А.В. Назаров, А.И. Лоскутов. – СПб : Наука и Техника, 2003. – 384 с.



20. Недосекін А.О. Фондовый менеджмент в расплывчатых условиях [Электронный ресурс] / А.О. Недосекін. – СПб : Типография «Сезам», 2003. – Режим доступа : <http://sedok.narod.ru/SC.group.html>
21. Асаи К. Прикладные нечеткий системы / [К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.]; [пер. с англ. / под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, С. Сугено]. – М. : Мир, 1993. – 368 с.
22. Kastner W., Fenske A., Hampel R. Improvement of the robustness of Modelled Measuring Methods using Fuzzy Logic. – World scientific, Proceedings of the 3rd International FLINS Workshop, Antwer, Belgium. – 1998. – p.129–142.
23. Zadeh L.A. The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems. Fuzzy Sets and Systems 11. – 1993. – p.199–227.
24. Данилюк М.О. Розвиток моделей управління процесом буріння глибоких свердловин на базі нечіткої логіки / М.О. Данилюк, І.Г. Фадєєва // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2001. – № 1. – С. 61–65.
25. Фадєєва І.Г. Комбінована модель спостереження за собівартістю метра проходки свердловини на нафту і газ / І.Г. Фадєєва // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2001. – № 4. – С. 77–81.

## References

1. Energhetychna strategija Ukrainy na period do 2030 roku [iz zminamy i dopovnennjamy, vnesenyj rozporjadzhennjam Ministerstva palyva ta energhetyky Ukrainy vid 26 bereznja 2008 roku]: [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.search.ligazakon.ua/>
2. Kozlovskij E.A. Avtomatyzacija upravlenija gheologhorazvedochnym burenyem / E.A. Kozlovskij. – M.: Nedra, 1991. – 215 s.
3. Baranovskij M.I. Ekonomichna ocinka docilnosti burinnja naftovykh sverdlodyn / M.I. Baranovskij, Gh.I.Burykina, I.I. Muzychko // [«Nafta i ghaz Ukrainy-2000»]: 6-a mizh nar. nauk.-prakt. konf.: zb. nauk. pracj. – Ivano-Frankivsk: Fakel, 2000. – S. 379-380.
4. Ghutak O.V. Aktualni problemy keruvannja nelinejnymy dynamichnymy ob'ektamy naftogazovydobuvnoji ghaluzi promyslovosti / O.V. Ghutak, Gh.N. Semencov // [«Suchasni metody, informacijne, proghramne ta tekhnichne zabezpechennja system upravlinnja orghanizacijno-tekhnologichnymy kompleksamy»]: proghr. i materialy mizhnar. nauk.-tekhn. konf., 26-27 lystopada 2009 r. – K.: NUKhT, 2009. – S. 29-30.
5. Danyljuk M.O. Modeljuvannja sobivartosti metra prokhodky sverdlodyn na osnovi metodiv nechitkoji loghiky / M.O. Danyljuk, I.Gh. Fadjjeva // Ekonomika: problemy teoriji i praktky. – Dnipropetrovsk: DNU. – 2005. – vyp. 204. – S. 99-112.
6. Fadjjeva I.Gh. Obruntuvannja kompleksu faktoriv, neobkhidnykh dlja operatyvnogho ocinjuvannja sobivartosti metra prokhodky sverdlodyn / I.Gh. Fadjjeva, B.I. Pernerovskij // Materialy VIII miedzynarodovey naukovy-praktycznej konferenciji [«Naukova mysl informacyjnej powieki-2012»], volum 8, Ekonomichni nauki, (Przemysl, 7-15 marca 2012 r.) / Przemysl: Nauka i studia, 2012. – С. 20-29.
7. Chawathe A. A Plan for Success in Deep Water / A. Chawathe, U. Ozdogan, K.S. Glaser, Y. Jalali, M. Riding // Oilfield Review: Schlumberger. – spring 2009. – P. 26-35.
8. Saydov A.A. Osnovnye aspekty sovershenstvovannja metodyky normyrovannja raskhoda elektroenerghy v burenyy/ A.A. Saydov, V.Y. Starostyn, L.Gh. Ghuzov, S.A. Slesarenko// NTYS, VNYOENGH, Ser. Ekonomyka y upravlenje neftjanoy promyshlennosti. – 1989. – Vyp.11. – S.10-14.
9. Khakimov L.Z. Optymaljni vytraty promyvnoji ridyny dlja burinnja sverdlodyn dolotamy D=215,9 mm / L.Z. Khakimov // Naftova i ghazova promyslovostj. – 2003. – №4. – S. 22-24.
10. Nesterova T.N. Ynformacyonnoe obespechene snyzhenija ryskov y zatrat v burenyy / T.N. Nesterova, S.N.Chebanov // Burenye y neftj. – 2003. – №10. – S. 39-41.
11. Bodjanskij E.V. Proghnozyrovane nelynejnykh vremennykh rjadov v uslovyjah strukturnoj neopredelennosti / E.V. Bodjanskij, S.V. Popov, A.N. Slypchenko // [«Avtomatyka 2003»]; 10-ja Mezhdunar. konf. po avtomaticheskomu upravleniju, gh. Sevastopolj, 2003 gh.: sborn. nauchn. trudov. – Sevastopolj: Yzd-vo Sev.NGHU, 2003. – S. 121-122.
12. Voloshyn A.F. Metody y systemy kachestvennogho proghnozyrovannja ekonomycheskykh makroparametrov na osnove mnogoparametrycheskykh zavysymostej / A.F. Voloshyn // [«Avtomatyka 2008»]: XV Mizhnar. konf. z avtomatichnogho upravlinnja, Odesa: tezysy dokl. – Odesa: ONMA, 2008. – S. 104-105.
13. Romanenko V.D. Proghnozyrovane dynamycheskykh processov na osnove matematycheskykh modelej v prostranstve sostojanij s raznotempovoj dyskretizaciej/ V.D. Romanenko, A.A. Reutov // [«Avtomatyka 2008»]: XV Mizhnar. konf. z avtomatichnogho upravlinnja, Odesa, 2008 r.: tezysy dokl. – Odesa: ONMA, 2008. – S. 484-487.
14. Fadjjeva I.Gh. Postanovka zadachi proghnozuvannja sobivartosti burinnja naftovykh i ghazovykh sverdlodyn za dopomoghoju shtuchnykh nejronnykh mrezez / I.Gh. Fadjjeva // [«Dinamika naukovykh badan-2009»]: V miedzynar.nauk.-prakt. konf., 7-15 lipca 2009 r.: materialy dop. – Przemysl: Nauka I Studia, 2011. – С. 17-21.
15. Bodjanskij E.V. Dynamycheskaja rekonstrukcija khaotycheskykh syghnalov na osnove nejrosetevykh tekhnologij / E.V. Bodjanskij, Y.P. Plyss, A.P. Chaplanov // Radyoelektronyka y ynfomatyka. – 2002. – № 3(20). – S. 62-64.
16. Chepenko T.E. Metody proghnozyrovannja vremennykh rjadov na osnove yskusstvennykh nejronnykh setej s elementamy vremennoj zaderzhky / T.E. Chepenko // Avtomatyzirovannje systemy upravlenija y prybory avtomatyky. – 2001. – Vyp. 157. – S. 41-48.
17. Bollerslev T. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity / T. Bollerslev // Journal of Econometrics. – 1986. – Vol. 31. – P.307-327.
18. Engle Robert F. Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation / F. Robert Engle // Econometrica. – 1982. – Vol. 50. – P. 987-1007.
19. Nazarov A.V. Neurosetevye alhorytmy proghnozyrovannja y optymyzatsyy system / A.V. Nazarov, A.Y. Loskutov. – Spb: Nauka y Tekhnyka, 2003. – 384s
20. Nedosekyn A.O. Fondovij menedzhment v rasplyvchatykh uslovyjah: [Elektronnyj resurs] / A.O. Nedosekyn. – Spb: Typoghrafija «Sezam», 2003. – Rezhym dostupu: <http://sedok.narod.ru/SC.group.html>
21. Asay K. Prykladnye nechetkye systemy: [per. s anghl.] / K. Asay, D. Vataada, S. Yvay y dr.; [pod red. T. Terano, K. Asay, S. Sughenjo]. – M.: Myr, 1993. – 368 s.
22. Kastner W., Fenske A., Hampel R. Improvement of the robustness of Modelled Measuring Methods using Fuzzy Logic. – World scientific, Proceedings of the 3rd International FLINS Workshop, Antwer, Belgium. – 1998. – p.129-142
23. Zadeh L.A. The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems. Fuzzy Sets and Systems 11. – 1993. – p.199-227

24. Danyljuk M.O. Rozvytok modelej upravlinnja procesom burinnja ghlybokykh sverdlovyn na bazi nechitkoji loghiky / M.O. Danyljuk, I.Gh. Fadjejeva. – Energhetyka: ekonomika, tekhnologhiji, ekolohhija. – 2001. - №1. – S.61-65.
25. Fadjejeva I.Gh. Kombinovana modelj sposterezhennja za sobivartistju metra prokhodky sverdlovyny na naftu i ghaz. Energhetyka: ekonomika, tekhnologhiji, ekolohhija. 2001. №4. S. 77–81.

Надійшла 18.08.2014; рецензент: д. е. н. Гораль Л. Т.