

УДК 658.5:622.276:622.24

І. Г. Фадєєва,

д. е. н., доцент, професор кафедри економіки підприємства,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ

КІЛЬКІСНІ МІРИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА НЕЧІТКОСТІ У БІЗНЕС-ПРОЦЕСАХ УПРАВЛІННЯ НАФТОГАЗОВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

I. Fadyeyeva,

Doctor of Economics, Associate professor, Professor of economics department,

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, m. Ivano-Frankivsk

QUANTITATIVE MEASURES OF UNCERTAINTY AND FUZZINESS IN BUSINESS PROCESSES OF MANAGEMENT OF OIL AND GAS COMPANIES

У статті проаналізовано підходи до визначення кількісних мір невизначеності та нечіткості у бізнес-процесах нафтогазовидобувних підприємств. Визначено причини виникнення невизначеності у господарській діяльності і джерела невизначеності опису бізнес-процесів підприємств. На основі авторського дослідження обґрунтовано новий підхід до моделювання нелінійних залежностей собівартості метра проходки свердловини для теоретичного прогнозування собівартості буріння свердловини. Створено класифікацію інформаційних ситуацій як нових ступенів градaції невизначеності щодо перебування економічного середовища в одному зі своїх можливих станів у момент прийняття суб'єктом управління певного рішення. Розкрито структуру сучасної інтегрованої системи управління підприємством, у складі якої визначені місця бізнес-систем управління.

This paper examines approaches for determining of quantitative measures of uncertainty and fuzziness in business processes of oil and gas companies. The reasons of uncertainty in economic activities and sources of uncertainty in describing of business processes are determined. A new approach to modeling nonlinear dependencies 1 meter borehole drilling costs for the theoretical prediction of the cost of well-drilling based on the author's research is substantiated. A classification of information situations as new graduation degrees of uncertainty about the economic environment stay in one of its possible stages at the time of acceptance of certain management decision is proposed. The structure of modern integrated enterprise management system, which includes certain places of business management systems is formed.

Ключові слова: бізнес-процес, невизначеність, нечіткість, кількісні міри, собівартість буріння, інформаційні ситуації, моделі, структура системи управління.

Key words: business process, uncertainty, fuzziness, quantitative measures, the cost of drilling, information situations, the model, structure of the control system.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Одним з основних завдань та напрямів реалізації "Енергетичної стратегії України" є формування цілісної та дієвої системи управління і регулювання у паливно-енергетичному комплексі. Особливістю цієї системи є те, що вона складається з різноманітних об'єктів, які функціонують за умов не-

визначеності економічного середовища під впливом різноманітних зовнішніх чинників. Ефективне управління усіма складовими такої системи може бути забезпечене лише за умови використання сучасних інтелектуальних методів управління: методів нечіткої логіки, штучних нейронних мереж, генетичних алгоритмів тощо.

На даний час нечітка логіка (Fuzzy logic) і поняття "нечіткість" широко використовуються у світовій практиці управління бізнес-процесами підприємств — у нечітких системах підтримки прийняття рішень та управління виробництвом, у нечітких експертних системах, нечіткому контролю якості, а також у маркетингу, при плануванні, моделюванні, аналізі, управлінні, оптимізації і прийнятті рішень [1, с. 40—47].

Багато досліджень [2; 3, с. 1739—1742; 4, с. 15—24] проводилися щодо застосування методів нечіткої логіки і теорії нечітких множин для вирішення різних економічних завдань з урахуванням властивостей об'єктів, які функціонують за умов невизначеності їх параметрів і структури під впливом зовнішніх чинників. Однак розглядалися, як правило, лише питання якісної міри нечіткості в економічному середовищі. Кількісним мірам невизначеності та нечіткості у бізнес-процесах належної уваги не приділялося, хоча реальні інформаційні ситуації, які виникають в економічному середовищі, як правило, мають властивості невизначеності і нечіткості.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Проблеми визначення кількісних мір невизначеності та нечіткості у бізнес-процесах були і нині знаходяться у центрі уваги цілого ряду вчених. Зокрема ці проблеми розглядаються такими зарубіжними вченими, як В. Новак [2], Q. Xue, Y. Hu, W. T omr Kins [3], I. I. Buckley [5], Li Gorlim [6], B. Vopenka [7], R. A. Ribeiro, R. R. Yaeger, I. Kasprzyk [17]. Досліджувана нами проблематика знайшла своє відображення у працях російських Р. І. Трухаєва [2], М. А. Кричевського [12], А. О. Недосєкіна [4], А. К. Мірзаджанзаде [17], А. М. Кармінського, Н. І. Оленєва, А. Г. Примака [16] і вітчизняних А. М. Тардаскіна, К. Ф. Ковальчука [10], А. В. Матвійчука [11], В. П. Стасюка [13], П. Г. Перерви [14] учених. Проте аналіз літературних джерел показує недостатній обсяг досліджень, проведених у напрямі розроблення засобів оцінювання невизначеності інформації. Тому актуальним науково-практичним завданням є теоретичні та експериментальні дослідження, спрямовані на визначення міри оцінювання невизначеності станів економічного середовища у певних інформаційних ситуаціях.

МЕТА СТАТТІ

Мета статті: проаналізувати кількісні міри невизначеності та нечіткості у бізнес-процесах і запропонувати підходи щодо підвищення

ефективності їх використання у системах управління нафтогазовидобувними підприємствами корпоративної структури, зокрема у моделюванні собівартості метра проходки свердловини.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наукова значущість понять "невизначеність" і "нечіткість" зростає переважно у цьому столітті. Вони стосуються обсягу знань, які ми маємо і які, зокрема, обмежені. Ці явища являють собою дві грані, що доповнюють одна одну, більш загального явища, яке називають "недетермінованістю" [18, с. 49—54].

Невизначеність виникає через брак знань про появу деякої події. Вона має місце до моменту проведення деякого експерименту, результат якого нам невідомий. Після проведення експерименту і ознайомлення з його результатами невизначеності вже немає.

Математична модель невизначеності базується на теорії ймовірності ($[0,1]$; 1 — подія правдоподібна, 0 — подія неправдоподібна, 0,5 — події рівнозначні).

Нечіткість з'являється у процесі об'єднання декількох об'єктів, що мають спільну властивість f . Результат називають групуванням. У близькому до формального вигляду групування записується так:

$$X = \{x \mid x \text{ має властивість } f\} \quad (1),$$

де x — елементи групування X .

Групування об'єктів X не є множиною, оскільки властивість f може й не призвести до можливості точно і однозначно описати групування X внаслідок того, що можуть існувати граничні елементи, для яких невідомо мають вони властивість f чи ні.

Господарські об'єкти впродовж свого функціонування стикаються з різними видами і типами невизначеності, яка є фундаментальною характеристикою недостатньої забезпеченості процесу прийняття економічних рішень необхідною інформацією або знаннями стосовно певної проблемної ситуації. Невизначеність тісно пов'язана з ефективністю економічної діяльності.

Визначимо види і типи невизначеності, а також причини виникнення невизначеності у господарській діяльності [462, с. 383—390]. Врахуємо, що невизначеність є фундаментальною характеристикою економічних процесів, зокрема бізнес-процесів нафтогазовидобувних підприємств. Це обумовлено тим, що з позицій теорії систем економіку слід віднести до класу динамічних, слабоструктурованих систем великої складності.

Причинами виникнення невизначеності у господарській діяльності є:

— недетермінованість процесів, які відбуваються в економічній діяльності, особливо підприємств нафтогазового комплексу;

— відсутність вичерпної інформації при організації та плануванні діяльності суб'єкта ринкової діяльності чи її суб'єктивний, неякісний аналіз;

— вплив суб'єктивних чинників на результати аналізу (рівень кваліфікації, дезінформації, приховування частини інформації).

Отже, невизначеність у економіці і діяльності підприємства з погляду якості інформації може виникати на етапах збирання інформації, аналізування інформації, прийняття управлінських рішень, що ґрунтуються на зібраній та обробленій інформації і є невід'ємним атрибутом прийняття управлінських рішень.

Джерелами невизначеності опису бізнес-процесів підприємств є [19, с. 240—248]:

— неможливість точного контролю реальних величин;

— неточність задавання змінних величин у моделях, початкових і граничних умов, обумовлена низькою точністю і вірогідністю оперативної інформації, що отримується з об'єктів управління у системах управління процесом формування витрат;

— неможливість повного і чіткого математичного опису багатьох об'єктів і ситуацій, яка може бути викликана неправильною декомпозицією загальної задачі, зайвою ідеалізацією моделі складного бізнес-процесу, лінеаризацією, дискретизацією та ін.;

— принципові обмеження щодо точності і великі помилки виконання сенсорних дій;

— неточність виконавських дій, які часто не досягають мети;

— недостатня розмірність моделі, яка не дозволяє відобразити усі значущі властивості економічного середовища.

З точки зору сучасної методології системного моделювання невизначеність може характеризувати наступні аспекти модельних уявлень [11]:

— неясність або нечіткість межі системи;

— неоднозначність семантики окремих термінів, які використовуються при побудові концептуальних моделей систем;

— неповнота модельних уявлень щодо деяких складних систем, особливо під час вирішення проблем, які погано формалізуються. У цьому випадку сама спроба побудувати адекватну модель складної системи або предметної області наштовхується на принципову немож-

ливість врахувати усі релевантні особливості проблеми, яка вирішується;

— суперечливість окремих компонентів модельних уявлень або вимог, яким повинна відповідати модель складної системи. Так, вимога побудувати нафтову чи газову свердловину за мінімальний час і з мінімальними фінансовими витратами містить у собі елемент протиріччя;

— невизначеність появи тих чи інших подій, які стосуються можливості системи-оригіналу бути у тому чи іншому стані у майбутньому. Цей аспект невизначеності часто називають стохастичним, оскільки він традиційно досліджувався засобами теорії ймовірності і математичної статистики.

Наведене вище стосується якісної характеристики поняття невизначеності. Проте для розв'язання практичних завдань управління підприємством потрібні кількісні оцінки невизначеності, які описуються математичними формулами.

Ця проблема ускладнюється тим, що при прийнятті економічних управлінських рішень виникає велика кількість різноманітних інформаційних ситуацій, під якими розуміють певний ступінь градації невизначеності щодо перебування економічного середовища в одному зі своїх можливих станів у момент прийняття суб'єктом управління певного рішення. Створено класифікацію інформаційних ситуацій (ІС), з яких типовими є сім. Вони створюють кортеж $Cor < I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7 >$ [20, с. 207].

Перша інформаційна ситуація I_1 характеризується заданим апіорним розподілом ймовірностей p_j щодо станів економічного середовища, тобто коли відомі компоненти вектора $P(p_1, p_2, \dots, p_n)$, де p_j — ймовірність реалізації j -го

стану, і при цьому $\sum_{j=1}^n p_j = 1, p_j \geq 0;$

$j = 1, 2, \dots, n.$

Друга інформаційна ситуація I_2 характеризується заданим розподілом апіорних ймовірностей різних станів економічного середовища з точністю до невідомих параметрів, які характеризують цей закон розподілу.

Для третьої інформаційної ситуації I_3 характерним є те, що апіорі закон розподілу ймовірності станів економічного середовища є невідомим, але відомі деякі співвідношення впорядкованості цих станів.

Четверта інформаційна ситуація I_4 характеризується, з одного боку, невідомим розподілом апіорних ймовірностей різних станів економічного середовища за умови, що невідомі

ймовірності $p_j (j=1, 2, \dots, n)$ сценаріїв задовольняють співвідношенням $\sum_{j=1}^n p_j = 1$, а з іншого

боку відсутністю активної протидії економічного середовища цілям суб'єкта управління.

П'ята інформаційна ситуація I_5 характеризується абсолютно протилежними інтересами суб'єкта прийняття рішень та економічного середовища.

Шоста інформаційна ситуація I_6 характеризується як проміжна між ситуаціями I_1 та I_5 у разі вибору економічним середовищем своїх станів, коли одночасно з наявністю інформації щодо розподілу апріорних ймовірностей економічне середовище не пасивне. При цьому протиріччя між інтересами суб'єкта прийняття рішень та економічним середовищем не обов'язково носять повністю антагоністичний характер.

Сьома інформаційна ситуація I_7 характеризується нечіткою множиною станів економічного середовища.

Кожній інформаційній ситуації відповідає свій вибір критеріїв прийняття рішення, під яким розуміють певний показник економічної ефективності та алгоритм, який дає змогу з множини рішень $S = (s_1, s_2, \dots, s_m)$ для фіксованого функціонала оцінювання у полі конкретної інформаційної ситуації обрати єдине оптимальне рішення $s_{opt} \in S$ відповідно до цього економічного показника [20, с. 208].

Невирішеною частиною наукової проблеми є створення кількісної міри оцінювання нечіткості у бізнес-процесах нафтогазовидобувних підприємств, що функціонують за умов апріорної та поточної невизначеності.

Вперше найбільш суттєві математичні результати з кількісної оцінки невизначеності інформації були отримані Р. Хартлі, К. Шенноном, А.Н. Колмогоровим, А.А. Харкевичем та ін., і були покладені в основу принципу максимальної невизначеності Гіббса-Джейнса [21].

Принцип Гіббса-Джейнса дає змогу отримати оцінку апріорного розподілу ймовірності станів економічного середовища у полях інформаційних ситуацій I_3 та I_4 , які є типовими для підприємств нафтової і газової промисловості. Тому оцінка апріорного розподілу має базуватися на відповідних гіпотезах (припущеннях). Такою гіпотезою може бути принцип максимальної невизначеності Гіббса-Джейнса або принцип недостатніх підстав Бернуллі-Лапласа.

Автори принципу Гіббса-Джейнса як міру невизначеності поведінки економічного середовища використали функцію К. Шеннона (ентропію К. Шеннона) у такому вигляді [22]:

$$H(P) = - \sum_{j=1}^n (p_j \ln p_j) \quad (2),$$

де $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$;

p_j — ймовірність реалізації j -го стану економічного середовища і при цьому

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1, \quad p_j \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Проте, на наш погляд, доцільною є заміна поняття кількості інформації за К. Шенноном на поняття прагматичної цінності економічної інформації, запропоноване у роботі [22], згідно з яким, якщо одна з ймовірностей p_j дорівнює одиниці, а інші ймовірності дорівнюють нулю, тобто один результат є достовірним і ніякої невизначеності не існує, то прагматична цінність економічної інформації дорівнює нулю. При рівних ймовірностях p_j , коли має місце найбільша невизначеність, прагматична цінність інформації максимальна. Коли стан економічного середовища має два рівноймовірних результати, прагматична цінність економічної інформації дорівнює одиниці.

Прагматична цінність економічної інформації $H(P)$ залежить від ймовірностей окремих станів економічного середовища.

Максимальне значення прагматичної цінності економічної інформації (рівня найбільшої невизначеності) можна визначити за критеріями [8]:

$$H(P) \xrightarrow{P \in \Delta_p} \max \quad (3)$$

$$\text{або} \left(- \sum_{j=1}^n p_j \ln p_j \right) \xrightarrow{P \in \Delta_p} \max \quad (4),$$

де $\sum_{j=1}^n p_j = 1, \quad p_j \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, n$ — обмеження (5).

Отже, для кількісного оцінювання невизначеності бізнес-процесів у нафтовій і газовій промисловості доцільно використовувати прагматичну цінність економічної інформації, що дає змогу застосовувати принцип максимальної невизначеності Гіббса-Джейнса для прийняття управлінських рішень за невідомого розподілу ймовірності станів економічного середовища [23, с. 104—108].

Відомо, що чим вищим є ступінь невизначеності, тим складнішим має бути інструментарій, який застосовується для прийняття управлінських рішень.

Нечіткість, як і невизначеність, не досліджувалась тривалий час. Справжній інтерес до них виник тільки після створення теорії нечітких множин професором Лотфі Заде [10].

Зазначимо, що типовою інформаційною ситуацією для більшості об'єктів нафтогазовидобувної галузі промисловості є ситуація, яка характеризується нечіткою множиною станів економічного середовища. Для забезпечення ефективного планування і управління процесом формування витрат у таких умовах потрібне відповідне адекватне математичне забезпечення.

Математичне забезпечення систем управління бізнес-процесами нафтогазовидобувних підприємств, побудованих на засадах нечіткої логіки, суттєво відрізняється від математичного забезпечення звичайних систем управління бізнес-процесами. Це пов'язано з тим, що основою для їх математичних моделей є розроблена Л.А. Заде теорія нечітких множин, яка є узагальненням класичної теорії множин Г. Кантора [8].

Нечіткість протилежна точності, і дослідники [5; 11; 12; 13; 14; 15 та ін.] вважають, що вона не може бути усунута жодним зі способів пояснення людиною оточуючого всесвіту. Оскільки точний опис містить надмірну кількість деталей, то будь-яка спроба пояснити загальний опис обов'язково веде до застосування нечітких понять. Тобто збільшення точності веде до збільшення кількості інформації, змістовність якої зменшується до того моменту, коли точність і змістовність не стануть характеристиками, які виключають одна одну. У цьому полягає відомий принцип невизначеності Л.А. Заде. Він показує, що нечіткість необхідна для передачі змістовної інформації. Нечіткість повинна бути відокремлена від спільності та від неоднозначності. Математична теорія нечіткості найбільш успішно представлена нечіткою логікою.

Стосовно визначення кількісної міри нечіткості існують різні підходи. У зв'язку з цим, актуальними є дослідження, спрямовані на пошуки узагальнених кількісних мір оцінювання нечіткості у бізнес-процесах підприємств.

Одним з них є поняття міри нечіткості, яке відповідає так званим умовам А. Де Луки та С. Терміні [2; 3; 4]. Вони зводяться до вимірювання рівня різниці між множиною A та її за-

переченням \bar{A} . Проте найбільш популярною є міра Р. Єгера, згідно з якою ступінь нечіткості множини A у матриці p , яка позначається $Fuz_p(A)$, визначається виразом [2, с. 278]:

$$Fuz_p(A) = 1 - \frac{D_p(A, \bar{A})}{n^{1/p}} \quad (6),$$

де $D_p(A, \bar{A})$ — міра відстані між множиною A і \bar{A} , які містять n елементів.

Іншу міру нечіткості (ентропійну) запропонував Б. Коско [3, с. 1739—1742]. Вона ґрунтується на понятті кардинального числа множини.

У роботі [24, с. 163—166] нами доведено, що міри Р. Єгера і Б. Коско дають різні результати, тому при визначенні кількісної оцінки нечіткості необхідно вказувати, яка міра нечіткості була використана. Це дає змогу кількісно оцінити нечіткість станів економічного середовища та використати цю інформацію в інформаційних системах, побудованих на засадах нечіткої логіки, для підтримки прийняття рішень керівника.

За умов мобільності й динамічності ринку товарів та послуг керівникам підприємств необхідно постійно аналізувати великі обсяги інформації; оцінювати її прагматичну цінність; ступінь її нечіткості; забезпечувати виконання планів у економічно доцільних межах; оперативно приймати рішення, постійно контролювати хід технологічних, економічних і фінансових бізнес-процесів підприємства. Підвищити якість управління бізнес-процесами підприємств можна завдяки використанню сучасних інформаційних технологій [20, с. 225].

На рисунку 1 наведено структуру сучасної інтегрованої системи управління підприємством, у складі якої визначені місця бізнес-систем управління.

Перетворення даних реального часу на цінну інформацію для бізнес-систем управління здійснюється за допомогою MES-систем.

Проблема ефективного управління підприємствами нафтогазовидобувного комплексу набуває принципово нового значення у контексті здійснення економічних реформ в Україні та активізації впровадження бізнес-систем управління на вітчизняних підприємствах. Методологічні та практичні засади управління бізнес-процесами промислових підприємств за умов широкого застосування сучасних інформаційних технологій потребують детального опрацювання, оскільки зарубіжний досвід у цій сфері не може бути застосований на підприєм-

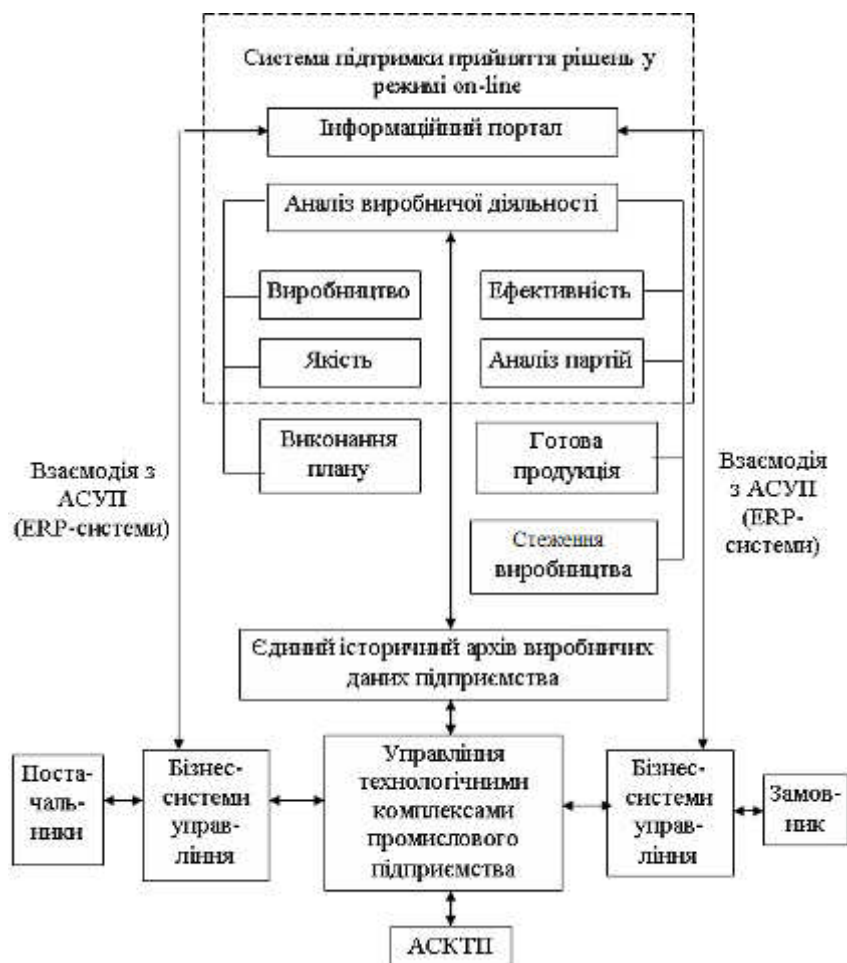


Рис. 1. Структура сучасної інтегрованої системи управління підприємством

Джерело: сформовано автором на основі [25].

ствах нафтової і газової промисловості без урахування особливостей розвитку економіки України.

Враховуючи, що процес формування витрат підприємств безпосередньо впливає на результати їх діяльності, виявлення джерел апріорної та поточної невизначеності цього процесу, є важливим науково-практичним завданням, вирішення якого потребує створення нових методів управління процесом формування витрат нафтогазових підприємств корпоративної структури у реальному часі з врахуванням управлінських реалій організації і ведення бізнесу, а також світових досягнень економічної науки, однією з яких вважається нечітка логіка.

Проте аналіз літературних джерел, наприклад [5; 11; 12; 13; 14; 15 та ін.], показує недостатній обсяг проведених досліджень стосовно використання у плануванні й управлінні підприємствами принципово нових ідей і методів управління процесами формування витрат підприємств, що основані на науково обґрунтованому обліку усієї наявної інформації щодо невизначеності об'єкта управління. У

зв'язку з цим актуальними є теоретичні та експериментальні дослідження, спрямовані на виявлення джерел апріорної та поточної невизначеності процесу формування витрат підприємств.

Розглянемо причини апріорної та поточної невизначеності процесу формування витрат бурових підприємств, які входять до складу нафтогазовидобувних корпорацій, а також статистичні властивості одного з джерел апріорної та поточної невизначеності на прикладі такого чинника, як час T , що витрачається на буріння кожного метра свердловини [26, с. 810—828].

Час T , що витрачається на буріння кожного метра свердловини, є одним з основних чинників, що впливають на собівартість кожного метра проходки і є джерелом її невизначеності [26, с. 814]:

$$B_c = B_2 T + (B_2 t_{cn} + B_0) b^1, \text{ грн./м} \quad (7),$$

де B_2 — вартість 1 години роботи бурової установки, грн./год.;

$T = t_0 / b$ — час, що витрачається на буріння 1 метра свердловини, год./м;

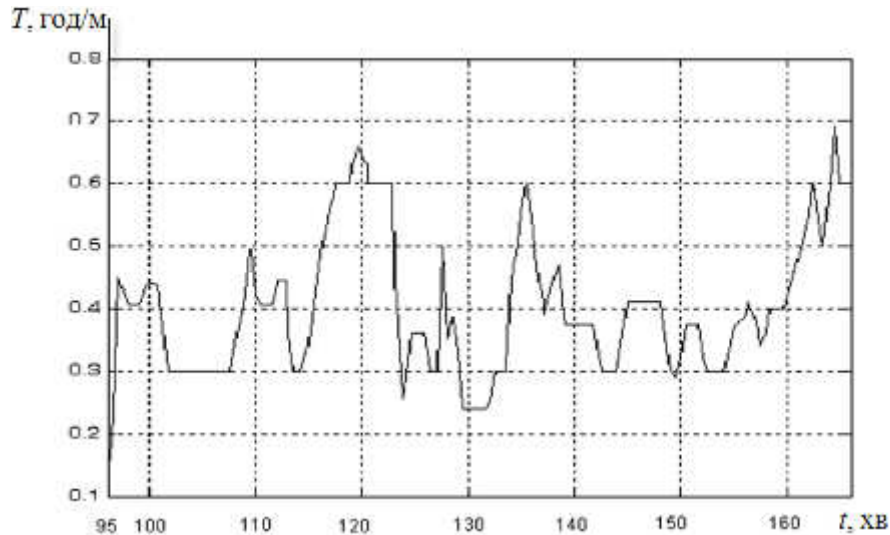


Рис. 2. Графік зміни часу T, що витрачається на буріння кожного метра свердловини

Джерело: сформовано автором на основі результатів досліджень.

t_{cn} — час, який витрачається на спуско-підймальні операції, пов'язані з заміною долота і нарощуванням бурильної колони, а також на допоміжні операції, віднесені до рейсу долота, год.;

t_0 — час буріння, год.;

B_0 — вартість бурового долота, грн.;

b — проходка на долото, м.

З формули (7) бачимо, що перша складова собівартості $B_0 T$ у процесі буріння лінійно зростає, тоді як друга складова $(B_0 t_{cn} + B_0) b^{-1}$ зменшується за законом гіперболи. Ці закономірності не змінюються при зменшенні або збільшенні вартості однієї години роботи бурової установки B_0 , або вартості долота B_d і часу спуско-підймальних операцій $t_{сп}$. Проте перша складова суттєво залежить від показника T , який у свою чергу, залежить як від керувальних дій, так і від властивостей гірських порід, що розбурюються.

Передумовою для зміни керувальних дій є не тільки бажання забезпечити виконання процесу з мінімальною собівартістю, але й стрибкоподібна зміна показника T , яка відбувається при переході породоруйнівного інструменту у гірську породу з іншими фізико-механічними і абразивними властивостями. Оскільки показник $T = \frac{t_0}{h}$ є випадковим, то слід розглянути його статистичні властивості. Для цього скористаємось результатами нашого експерименту, проведеного на похилоспрямованій свердловині № 185 Північна Долина. Буріння здійснено установкою "Уралмаш 4Е-76" на глибині 1300 м електробуром Е-240-8Р, долотом 295,3 СЗ-ГВ, з частотою обертання 230 об./хв., про-

дуктивністю насосів 32,0 л/с і осьовим навантаженням на долото 120 кН.

У результаті експерименту нами отримано графік зміни показника T у часі (рис. 2).

Результати обробки даного графіка були представлені у дискретній формі з кроком дискретизації $\Delta t = 0,5$ хв. Далі скористалися програмами, розробленими у середовищі програмного продукту Matlab 6.5, для пошуку математичного сподівання, дисперсії, середньоквадратичного відхилення і автокореляційної функції. Отримано автокореляційну функцію $R_{TT}(\tau)$ з такими статистичними характеристиками випадкового процесу: математичне сподівання $M1 = 0,4082$, середньоквадратичне відхилення $S1 = 0,1134$, дисперсія $D1 = 0,0129$.

Щоб виявити зміну показника T залежно від проходки, слід визначити інтенсивність $\frac{dT}{dh}$ зміни його по глибині свердловини.

Інтенсивність зміни показника T по глибині свердловини h можна описати диференціальним рівнянням [27, с. 39—41]:

$$\frac{dT}{dh} = aT^2 + bT + c \quad (8),$$

де a, b, c — коефіцієнти, що характеризують гірничо-геологічні і техніко-технологічні параметри.

Вони можуть бути визначені шляхом обробки фактичних даних, отриманих за допомогою систем контролю процесу буріння свердловин, таких як "Геосервіс", БУР-САК, Леуза та ін.

Наявність стрибкоподібної зміни режиму функціонування обладнання визначається за умови [28, с. 216]:

Таблиця 1. Інформативність показника T на різних інтервалах буріння

Інтервал буріння, м	2630-2654	2655-2679	2680-2704	2705-2729
Інформативність, біт	2,298	2,087	2,373	2,548

Примітка: складено автором на основі джерела [27].

$$\frac{dT}{dh} = \frac{d^2T}{dh^2} = 0, \text{ або } b^2 - 4ac = 0 \quad (9).$$

Якщо значення $b^2 - 4ac > 0$, то спостерігається стійка тенденція поглиблення свердловин, а переходу до нестійкого стану відповідають значення $b^2 - 4ac < 0$. В міру наближення цих значень до нульового система наближається до нестабільного стану і у будь-яку мить може перейти до нестійкого стану, що свідчить про складність умов поглиблення свердловин.

Складність такого динамічного процесу нами запропоновано визначати за відомою формулою К. Шеннона:

$$R_z = 1 - \frac{I(h)}{I(h)_{\max}} \quad (10),$$

де R_z — коефіцієнт складності;
 $I(h)$ — інформаційна цінність показника, який досліджується;

$I(h)_{\max}$ — максимальна інформативність при рівній ймовірності розподілу показника.

Діапазон зміни коефіцієнта складності R_z обмежений значеннями $0 \leq R_z \leq 1$. Тобто, якщо коефіцієнт складності $R_z = 1$, то вважається, що динамічний процес за інформаційною насиченістю є повністю визначеним, але якщо $R_z = 0$, то вважається, що процес повністю невизначений.

У загальному випадку, коли контрольована величина T може приймати m різних дискретних значень з ймовірностями $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i, \dots, \rho_m$, середня кількість інформації, що припадає на одне повідомлення, коли ці повідомлення нерівноймовірні, визначається за формулою:

$$I(T) = - \sum_{i=1}^{i=m} \rho(T_i) \log_2 \rho(T_i), \text{ біт/повідомлення} \quad (11),$$

де ймовірності усіх подій пов'язані між собою співвідношенням

$$\sum_{i=1}^{i=m} \rho_i \equiv 1 \quad (12),$$

де ρ_i — ймовірність того, що показник T знаходиться у визначеному інтервалі.

Формула (11) визначає середню кількість інформації, що припадає на одне дискретне повідомлення. Величина $I(T)$ також характеризує ступінь невизначеності подій і у теорії інформації має назву ентропії процесу або джерела інформації.

Користуючись співвідношенням (12), можна визначити інформаційну цінність показника T у будь-якому інтервалі буріння свердловини, тобто на будь-якому етапі процесу формування витрат. Для прикладу розглянемо ступінь складності процесу формування витрат на поглиблення свердловини, користуючись часом T , який витрачається на буріння одного метра свердловини.

Для цього скористаємось результатами експериментальних досліджень [27, с. 39—41], отриманих при бурінні свердловини на нижній міоцен в інтервалі 2630—2729 м з використанням комплексу "Геосервіс". У таблиці 1 наведено інформативність показника T для різних інтервалів буріння.

Користуючись результатами, наведеними у таблиці 1, визначимо ступінь складності процесу формування витрат на поглиблення свердловин за часом T , витраченим на буріння кожного метра свердловини:

$$RZ1(T) = 1 - \frac{2,298}{3} = 0,234,$$

$$RZ2(T) = 1 - \frac{2,087}{3} = 0,305,$$

$$RZ3(T) = 1 - \frac{2,373}{3} = 0,209,$$

Таблиця 2. Інтенсивність зміни показника T у досліджуваних інтервалах буріння

№ інтервалу	Інтервали буріння, м	$aT^2 + eT + c = y(T)$
1	2630-2654	$0,07T^2 - 0,83T + 2,16 = y_1(T)$
2	2655-2679	$-0,08T^2 + 1,19T - 4,32 = y_2(T)$
3	2680-2704	$0,35T^2 - 4,38T + 13,10 = y_3(T)$
4	2705-2729	$-0,03T^2 + 1,04T - 3,05 = y_4(T)$

Примітка: складено автором на основі джерела [27].

$$RZ_4(T) = 1 - \frac{2,548}{3} = 0,151.$$

Отже, оскільки показник $R_{Z_i} \leq 1$ для усіх досліджуваних інтервалів свердловини, то можна зробити висновок, що на глибині від 2630 до 2729 м процес формування собівартості метра проходки був складним і складність його зростала в міру заглиблення свердловини, тобто одночасно зростала невизначеність процесу.

Згідно з формулою (9) у результаті аналізу інтенсивності зміни показника T , на вказаних інтервалах буріння були отримані залежності, наведені у таблиці 2.

Аналіз показує, що інтенсивність зміни показника T на різних інтервалах буріння не є сталою величиною, що є джерелом поточної невизначеності при використанні показника T для управління процесом формування витрат.

Отримані результати свідчать, що стохастичний процес зміни у часі такого чинника як час, що витрачається на буріння одного метра свердловини $T(t)$, не підпорядковується нормальному закону розподілу Гауса, але має більшу ймовірність підпорядкування нормальному закону Лапласа-Шарльє. Це означає, що використання нормального закону розподілу Гауса при синтезі систем планування й управління процесом формування витрат вносить додаткову невизначеність у досліджуваній процес.

Крім того, встановлено, що інтенсивність зміни показника T змінюється з глибиною свердловини, що є ще одним джерелом поточної невизначеності процесу формування витрат.

Отримання оптимального рішення для складної системи, якою є процес формування витрат на буріння нафтових і газових свердловин, що описується десятками параметрів, можливе шляхом зменшення складності при вирішенні задачі за допомогою узагальненої моделі собівартості метра проходки.

Відомі підходи [1; 29 та ін.] дають змогу отримувати раціональні рішення для процесу формування витрат на буріння, виконуючи розрахунки за спрощеними моделями. У цих роботах собівартість метра проходки апроксимується детермінованою математичною моделлю, параметри якої можуть бути визначені лише після закінчення рейсу долота. Такий підхід дає змогу визначити кращі параметри режиму буріння свердловини, але не дозволяє використати вказані моделі для управління процесом формування витрат на буріння у реальному часі.

Отже, не вирішеною раніше частиною загальної проблеми є необхідність розробки нечітких моделей процесу формування витрат бурових підприємств, які були б придатні для оцінювання витрат і управління ними у реальному часі [23, с. 104—108].

Для цього потрібний новий сучасний підхід, який застосовують у математиці і який ґрунтується на використанні теорії нечіткої логіки та нечітких апроксимаційних моделей. Моделі нечіткої логіки, на відміну від існуючих моделей собівартості метра проходки свердловини, дають змогу поєднати переваги лінгвістичного опису природною мовою з високими апроксимаційними властивостями.

Вказані вище обставини визначають актуальність розробки методів для створення нечітких моделей собівартості метра проходки свердловини та необхідність їх подальшого застосування для управління розвитком підприємств.

У загальному випадку нечітка модель собівартості I метра проходки являє собою множину лінгвістичних правил, кожне з яких визначається за допомогою кортежу $Cor < T, U, X, Y, I, F >$, де T — множина лінгвістичних термів; U — множина універсумів нечітких змінних; X — набір вхідних змінних; Y — набір вихідних змінних; I — метод нечіткої імплікації; F — методи фазифікації та дефазифікації.

Відомо, що базовий обсяг нечітких продукційних правил, які пов'язують лінгвістичні оцінки $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ та цільовий вихід y , становить R^k , $k = \overline{1, m}$; багаторівневий формат нечітких продукційних правил — "IF-AND-OR-THEN"; масив $(t = \overline{1, S})$ навчальних кортежів: $teach^t < \underline{x}, d >$, функції належності змінних $\underline{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ до нечітких термів.

Нами розглянуто два найбільш застосовуваних типи нечітких моделей — Мамдані й Такагі-Сугено, а також проаналізовано параметри лінгвістичних правил, необхідних для побудови нечітких моделей собівартості метра проходки; набори вхідних і вихідних змінних для кожного правила; кількість термів — множин лінгвістичних змінних; вид і параметри функцій належності терм — множин лінгвістичних змінних.

Для побудови нечіткої моделі собівартості метра проходки нами обрана трикутна функція належності, тому що вона потребує лише трьох параметрів для означення, а також обчислюється швидше, ніж функції належності інших видів: гаусоподібні; сигмоїдальні; трапецієподібні. Функції належності побудовані ме-

тодом обробки експертної інформації у програмному середовищі MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox).

Для побудови нечіткої моделі собівартості метра проходки була використана нечітка модель типу Такагі-Сугено другого порядку

$$R_i: \text{IF } x_1 \text{ is } A_1 \wedge x_2 \text{ is } A_2 \wedge \dots \wedge x_n \text{ is } A_n \text{ THEN}$$

$$Z = a_{1i} \cdot x_1^2 + a_{2i} \cdot x_2 + b_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (13).$$

Кількість функцій належності та їх параметри визначалися так само, як для моделі Мамдані-типу. Для налаштування моделі необхідно було знайти параметри консеквентів правил $a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni}, b_i$, які є реальними числами. Етапи синтезу збігаються з етапами синтезу моделі Мамдані.

Побудовані нечіткі моделі дають змогу розв'язати задачу оптимізації витрат на буріння свердловин, що проектуються.

В основі підходу лежить заміна детермінованої математичної моделі собівартості метра проходки нечіткою моделлю Такагі-Сугено та подальше її використання для пошуку оптимальних проектних параметрів. Для проведення оптимізації початковими даними є межі зміни вхідних параметрів $[\bar{x}_{\min}, \bar{x}_{\max}]$, а потім здійснюється швидкий оптимізаційний цикл, для якого значення цільової функції обчислюється за допомогою спрощеної моделі Такагі-Сугено. Результатом його є деяке наближене сполучення параметрів, тобто вектор \bar{x} і відповідний йому вектор \bar{y} . Ітераційний процес завершується, коли досягається наперед задане значення похибки.

Методи побудови нечітких моделей собівартості метра проходки Такагі-Сугено-типу дають змогу використовувати базу знань, яка містить досвід експертів, бази даних, проводити ітераційні розрахунки собівартості будівництва свердловин у інтерактивному режимі, формувати сценарії розрахунків та використовувати бібліотеку алгоритмів оптимізації.

ВИСНОВКИ

1. На основі проведених досліджень обґрунтовано необхідність використання кількісних мір невизначеності невизначеності та нечіткості у бізнес-процесах, що дає змогу кількісно оцінити нечіткість економічного середовища та використати цю інформацію в інформаційних системах, побудованих на засадах нечіткої логіки для підтримки прийняття рішень керівника. Встановлено, що існує залежність інтенсивності зміни часу, що витрачається на буріння одного метра проходки свердловини від глибини, яка описується рівняннями другого порядку.

2. У результаті проведених досліджень та системного аналізу вперше розроблено метод моделювання нелінійних залежностей собівартості метра проходки моделями Мамдані й Такагі-Сугено для теоретичного прогнозування собівартості буріння свердловини, що дає змогу врахувати якісний характер об'єкта проектування та скоротити час на проведення проектних розрахунків та вибір раціонального рішення, залишаючи припустиму точність розрахунків.

Подальші дослідження у цій сфері мають бути спрямовані на розробку дієвих організаційних та економічних механізмів, що забезпечують ефективне управління нафтогазовидобувними підприємствами.

Література:

1. Мирзаджанзаде А.К. Строительство скважин, системный подход, искусственный интеллект. Гипотезы. Поиск. Прогнозы / А.К. Мирзаджанзаде, А.И. Булатов, А.И. Гуслян, О. Ширинзаде: сб. науч. трудов. — Краснодар: Северокавказское отделение инженерной академии Российской Федерации, 1992. — С. 40—47.
2. Новак В. Математические принципы нечеткой логики; [пер. с англ., под ред. А.Н. Аверкина] / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкорж. — М.: Физмат, 2006. — 352 с.
3. Xue Q. Analysis of hidden units of black propagation model by SVD / Q. Xue, Y. Hu, W. Tompkins // Proc. ICNN, Washington. — 1990. — P. 1739—1742.
4. Недосекин А.О. Применение теории нечетких множеств к задачам управления финансами: [Электронный ресурс] / А.О. Недосекин // Аудит и финансовый анализ. — 2000. — № 2. — С. 15—24. — Режим доступа: <http://veis.geoner.com/ukrnafta-site/zvitu/FO3200.45c2>
5. Buckley I.I. The Fuzzy Mathematics of Finance / I.I. Buckley // Fuzzy Sets and Systems. — 1987. — № 2. — P. 257—273.
6. Li Gorli M. Towards a General Setting for the Fuzzy Mathematics of Finance / Gorli M. Li // Fuzzy Sets and Systems. — 1990. — № 35. — P. 265—280.
7. Vopenka V. Mathematics in the Alternative Set Theory / V. Vopenka. — Leipzig, Teubner, 1979. — 320 p.
8. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности / Р.И. Трухаев. — М.: Наука, 1981. — 258 с.
9. Тардаскіна Т.М. Суть інформації та її роль в економіці та менеджменті / Т.М. Тардаскіна // Вісник Хмельницького національного університету. — 2006. — № 6. — С. 175—180.

10. Ковальчук К.Ф. Интеллектуальная поддержка принятия экономических решений / К.Ф. Ковальчук. — Донецьк: ІЭП НАН України, 1996. — 244 с.

11. Матвійчук А.В. Аналіз та прогнозування розвитку фінансово-економічної системи із використанням теорії нечітких множин / А.В. Матвійчук. — К.: Центр навчальної літератури, 2005. — 206 с.

12. Кричевский М.А. Интеллектуальные методы в менеджменте / М.А. Кричевский. — СПб.: Питер, 2005. — 304 с.

13. Стасюк В.П. Модели адаптивного управления предприятием [монография] / В.П. Стасюк. — Донецьк: Юго-Восток, 2003. — 224 с.

14. Перерва П.Г. Стратегічне управління виробничим потенціалом і підвищення конкурентоспроможності підприємства / П.Г. Перерва, Д. Коциски, А.П. Косенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". — Х.: НТУ "ХПІ". — 2010. — Вип. 62. — С. 137—142.

15. Управление крупным промышленным комплексом в транзитивной экономике: [монография]; [под общ. ред. проф. Лысенко Ю.Г.]. — Донецьк: ООО "Юго-Восток Лтд", 2003. — 670 с.

16. Карминский А.М. Контроллинг в бизнесе. Методические и практические основы построения контроллинга в организациях [2-е изд.] / О.М. Карминский, Н.И. Оленев, А.Г. Примяк. — М.: Финансы и статистика, 2003. — 256 с.

17. Ribeiro R.A. Soft Computing in Financial Engineering / R.A. Ribeiro, H.I. Zimmermann, R.R. Yager, I. Kasprzyk // Heidelberg; New York: Physica-Verlag. — 1999. — 387 p.

18. Fadyeyeva I. New approaches to the design of power retrenchment technologies in oil and gas well-drilling / I. Fadyeyeva, G. Sementsov // Proceedings ["13th East West Zittau Fuzzy Colloquium-2006"]; Germany, 13—15 September, 2006. — Zittau, 2006. — P. 49—54.

19. Фадеєва І.Г. Невизначеність в бізнес-процесах підприємств / І.Г. Фадеєва // Економіка: проблеми теорії та практики. — Дніпропетровськ: ДНУ, 2008. — Вип. 244. (Т. 1). — С. 240—248.

20. Фадеєва І.Г. Системно-синергічні засади управління розвитком нафтогазових підприємств корпоративної структури: [монографія] / І.Г. Фадеєва. — ІФНТУНГ, Івано-Франківськ: ПП Кузів Б., 2012. — 459 с.

21. Вітлінський В.В. Економічний ризик: ігрові моделі; [за ред. д-ра екон. наук, проф. В.В. Вітлінського] / В.В. Вітлінський, П.І. Верченко, А.В. Сігал, Я.С. Наконечний. — К.: КНЕУ, 2002. — 446 с.

22. Ротач В.Я. Автоматизация настройки систем управления / В.Я. Ротач, В.Ф. Кузищин, А.С. Ключев. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 272 с.

23. Данилюк М.О. Нечітке моделювання собівартості буріння свердловин на нафту і газ / М.О. Данилюк, І.Г. Фадеєва // Науковий журнал Вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. — 2005. — № 1 (10). — С. 104—108.

24. Фадеєва І.Г. Кількісні міри нечіткості в бізнес-процесах підприємств / І.Г. Фадеєва // Науковий журнал Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. — Хмельницький. — 2008. — № 6, Т. 3 (124). — С. 163—166.

25. Патрихин В. Управление производством / В. Патрихин // Мир автоматизации. — 2006. — С. 58—62.

26. Фадеєва І.Г. Напрямки зменшення впливу витрат енергоносіїв на собівартість видобування вуглеводнів / І.Г. Фадеєва // Економіка: проблеми теорії і практики. — 2006. — Вип. 214 (Т. III). — С. 810—828.

27. Белоконь С.В. Оперативное управление процессом бурения скважин по данным комплекса "Геосервис" / С.В. Белоконь // Нефтяное хозяйство. — 2001. — № 3. — С. 39—41.

28. Моросанов И.С. Первый и второй законы теории систем / И.С. Моросанов // Системное исследование: методологические проблемы. Ежегодник. РАН Ин-т системного анализа. — М.: Эдиториал УРСС, 1996. — С. 97—114.

29. Козловский Г.А. Кибернетика в бурении / Г.А. Козловский, В.М. Питерский, М.А. Комаров. — М.: Недра, 1982. — 298 с.

References:

1. Mirzadzhanzade, A.K. Bulatov, A.I. Gusljan, A.I. and Shirinzade, O. (1992), Stroitel'stvo skvazhin, sistemnyj podhod, iskusstvennyj intellekt. Gipotezy. Poisk. Prognozy [Construct boreholes, system approach, artificial intelligence. Hypothesis. Search. forecasts], Severokavkazskoe otdelenie inzhenernoj akademii Rossijskoj Federacii, Krasnodar, Russia.

2. Novak, V. Perfil'eva, I. and Mochkorzh, I. (2006), Matematicheskie principy nechetkoj logiki [Mathematical principles of fuzzy logic], Fizmat, Moscow, Russia.

3. Xue, Q. Hu, Y. and Tompkins, W. (1990), Analysis of hidden units of black propagation model by SVD, Proc. IICNN, Washington, USA.

4. Nedosekin, A.O. (2000), Primenenie teorii nechetkih mnozhestv k zadacham upravlenija

finansami [Application of fuzzy set theory to the problems of financial management], *Audit i finansovyj analiz*, vol. 2, pp. 15—24.

5. Buckley, I.I. (1987), "The Fuzzy Mathematics of Finance", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 2, pp. 257—273.

6. Li, Gorli, M. (1990), "Towards a General Setting for the Fuzzy Mathematics of Finance", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 3, pp. 265—280.

7. Vopenka, B. (1979), *Mathematics in the Alternative Set Theory*, Teubner, Leipzig, Germany.

8. Truhaev, R.I. (1981), *Modeli prinjatija reshenij v uslovijah neopredelennosti* / [Model of decision making under uncertainty], Nauka, Moscow, Russia.

9. Tardaskina, T.M. (2006), "The essence of information and its role in the economy and management", *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*, vol. 6, pp. 175—180.

10. Koval'chuk, K.F. (1996), *Intelektual'naja podderzhka prinjatija jekonomicheskikh reshenij* [Intellectual support for economic decision-making], IJeP NAN Ukraina, Doneck, Ukraine.

11. Matvijchuk, A.V. (2005), *Analiz ta prognovuvannia rozvytku finansovo-ekonomichnoi systemy iz vykorystanniam teorii nechitkykh mnozhyn* [Analysis and forecasting of economic and financial systems using fuzzy set theory], *Tsentr navchal'noi literatury*, Kyiv, Ukraine.

12. Krichevskij, M.L. (2005), *Intellektual'nye metody v menedzhmente* [Intelligent methods in management], Piter, St.Petersburg, Russia.

13. Stasjuk, V.P. (2003), *Modeli adaptivnogo upravlenija predpriatiem* [Models of adaptive enterprise management], Jugo-Vostok, Doneck, Ukraine.

14. Pererva, P.H. Kotsysky, D. and Kosenko, A.P. (2010), "Strategic management of production capacity and improve the competitiveness of enterprises", *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu KhPI*, vol. 62, pp. 137—142.

15. Lysenko, Ju.G. (2003), *Upravlenie krupnym promyshlennym kompleksom v tranzitivnoj jekonomike* [Management of a large industrial complex in transitive economy], Jugo-Vostok, Doneck, Ukraine.

16. Karminskij, A.M. Olenov, N.I. and Primjak, A.G. (2003), *Kontrolling v biznese. Metodicheskie i prakticheskie osnovy postroenija kontrollinga v organizacijah* [Controlling in business. Methodological and practical bases for the construction of controlling in organizations], *Finansy i statistika*, Moscow, Russia.

17. Ribeiro, R.A. Zimmermann, H.I. Yager, R.R. and Kasprzyk, I. (1999), *Soft Computing in Financial Engineering*, Physica-Verlag, New York, USA.

18. Fadyeyeva, I. and Sementsov, G. (2006), "New approaches to the design of power retraining technologies in oil and gas well-drilling", *Proceedings 13th East West Zittau Fuzzy Colloquium-2006*, Zittau, Germany, pp. 49—54.

19. Fadijeva, I.H. (2008), "Uncertainty in business processes", *Ekonomika: problemy teorii ta praktyky*, vol. 244, no. 1, pp. 240—248.

20. Fadijeva, I.H. (2012), *Systemno-synerhichni zasady upravlinnia rozvytkom naftohazovykh pidpriemstv korporativnoi struktury* [System-synergistic principles of management of oil and gas companies corporate structure], IFNTUNH, Ivano-Frankivs'k.

21. Vitlins'kyj, V.V. Verchenko, P.I. Sihal, A.V. and Nakonechnyj, Ya.S. (2002), *Ekonomichnyj ryzyk: ihrovi modeli* [Economic risk: game models], KNEU, Kyiv, Ukraine.

22. Rotach, V.Ja. Kuzishhin, V.F. and Kljuev, A.S. (1984), *Avtomatizacija nastrojki sistem upravlenija* [Automate configuration of management systems], *Jenergoatomizdat*, Moscow, Russia.

23. Danyliuk, M.O. and Fadijeva, I.H. (2005), "Fuzzy modeling the cost of drilling for oil and gas", *Naukovyj zhurnal Visnyk Ivano-Frankivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*, vol. 1 (10), pp. 104—108.

24. Fadijeva, I.H. (2008), "Quantitative measures of fuzziness in business processes", *Naukovyj zhurnal Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Ekonomichni nauky*, vol. 6, no.3 (124), pp. 163—166.

25. Patrihin, V. (2006), "Production management", *Mir avtomatizacii*, pp. 58—62.

26. Fadijeva, I.H. (2006), "Direction of reducing impact of energy costs on the cost of production of hydrocarbons", *Ekonomika: problemy teorii i praktyky*, vol. 214, pp. 810—828.

27. Belokon', S.V. (2010), "Operational management of the drilling according to complex "Geoservis", *Neftjanoe hozhajstvo*, vol. 3, pp. 39—41.

28. Morosanov, I.S. (1996), "The first and second laws of systems theory", *Sistemnoe issledovanie: metodologicheskie problemy. Ezhegodnik*, pp. 97—114.

29. Kozlovskij, G.A. Piperskij, V.M. and Komarov, M.A. (1982), *Kibernetika v burenii* [Cybernetics in drilling], Nedra, Moscow, Russia.

Стаття надійшла до редакції 22.09.2014 р.