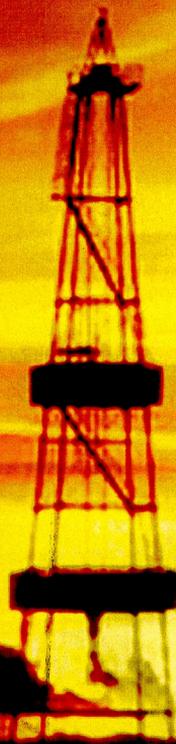


65.9(4Укр)305.143

Ф 15



І.Г. Фадеева, М.О. Данилюк



ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ
ВИТРАТ БУРОВИХ
ПІДПРИЄМСТВ

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

Кафедра економіки підприємства

І. Г. Фадєєва, М. О. Данилюк

**ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ
ВИТРАТ БУРОВИХ
ПІДПРИЄМСТВ**

Монографія

Івано-Франківськ
Видавець Супрун В.П.
2009

УДК 338.512+(658.5+519.866): 622.24

ББК 65.305.143.222-933

Ф 15

Рецензенти:

Д-р екон. наук **Чукаєва І. К.**

(Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України, головний науковий співробітник відділу паливно-енергетичного комплексу)

Д-р екон наук, професор **Савич В. І.**

(Приватний вищий навчальний заклад «Галицька академія», президент)

Д-р екон. наук **Витвицький Я. С.**

(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри економіки підприємства)

Рекомендовано до друку ухвалою Вченої ради Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу – протокол № 05/479 від 27. 05. 2009р.

Фадєєва І. Г., Данилюк М. О.

Ф 15 Інтегрована система оперативного оцінювання витрат бурових підприємств: монографія / ІФНТУНГ – Івано-Франківськ:

Супрун В. П., 2009. – 170 с.

ISBN 978-966-8969-28-7

Монографія присвячена вивченню актуальних питань оперативного оцінювання витрат бурових підприємств із застосуванням сучасних методів, зокрема, нечіткої логіки. Вона може бути корисною студентам та викладачам вищих навчальних закладів економічного напрямку, які цікавляться прикладним застосуванням сучасних математичних методів у економіці, а також фахівцям бурових підприємств.

УДК 338.512+(658.5+519.866): 622.24

ББК 65.305.143.222-933

ISBN 978-966-8969-28-7

© Фадєєва І. Г., Данилюк М. О., 2009

© ІФНТУНГ, 2009

ЗМІСТ

Передмова	6
Розділ 1 Теоретичні та прикладні засади створення інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат	15
1.1 Взаємозв'язок елементів внутрішнього бізнес-середовища підприємства	15
1.2 Спільні характерні властивості функціонально пов'язаних бізнес-процесів	20
1.3 Показники процесу буріння, цільові функції та витрати бурових підприємств	31
1.4 Особливості інтегрованого оцінювання витрат у процесі буріння	52
1.5 Поточні витрати як критерій ефективності управління процесом буріння	61
Розділ 2 Удосконалення оперативного оцінювання витрат бурових підприємств	74
2.1 Методика досліджень та аналіз структури виробничого процесу буріння свердловин.....	75
2.2 Дослідження існуючих методів оперативного оцінювання витрат на буріння нафтових і газових свердловин.....	90
2.3 Вибір критеріїв оптимальності управління процесом формування собівартості буріння нафтових і газових свердловин	100
Розділ 3 Формування інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат	115
3.1 Методологічні основи формування інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат.....	116
3.2 Нечітка модель оперативного оцінювання витрат та прикладні аспекти її реалізації	131
3.3 Комбінована модель спостереження за собівартістю метра проходки	143
Післямова	162
Література	164

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	9
Раздел 1 Теоретические и прикладные основы создания интегрированной системы оперативного оценивания затрат	15
1.1 Взаимосвязь элементов внутренней бизнес-среды предприятия	15
1.2 Общие характерные особенности функционально связанных бизнес-процессов	20
1.3 Показатели процесса бурения, целевые функции и затраты буровых предприятий	31
1.4 Особенности интегрированного оценивания затрат в процессе бурения	52
1.5 Текущие затраты как критерий эффективности управления процессом бурения.....	61
Раздел 2 Совершенствование оперативного оценивания затрат буровых.....	74
2.1 Методика исследований и анализ структуры производственного процесса бурения скважин.....	75
2.2 Исследование существующих методов оперативного оценивания затрат на бурение нефтяных и газовых скважин.....	90
2.3 Выбор критериев оптимальности управления процессом формирования себестоимости бурения нефтяных и газовых скважин	100
Раздел 3 Формирование интегрированной системы оперативного оценивания затрат	115
3.1 Методологические основы формирования интегрированной системы оперативного оценивания затрат.....	116
3.2 Нечеткая модель оперативного оценивания затрат и прикладные аспекты ее реализации	131
3.3 Комбинированная модель наблюдения за себестоимостью метра проходки	143
Послесловие	162
Литература	164

CONTENTS

Introduction	12
Part 1 Theoretical and applied foundations of an integrated system for operative assessment of the costs	15
1.1 The relationship of the internal business-environment of the company	15
1.2 General characteristics of functionally connected business processes.....	20
1.3 Indicators of drilling, the objective functions and costs of drilling companies	31
1.4 Features of integrated costs estimating in the drilling process.....	52
1.5 Current cost as a criterion for the effectiveness of management drilling process	61
Part 2 Improving the operative estimation of drilling companies costs	74
2.1 Methods of research and analysis of the structure of production process of drilling wells	75
2.2 Investigation of existing methods for operative estimation of oil and gas well-drilling costs	90
2.3 Choice of optimality criteria for the management process of oil and gas well-drilling costs forming.....	100
Part 3 The formation of an integrated system for operative estimation of costs.	115
3.1 Methodological basis of forming an integrated system for operative estimation of costs	116
3.2 Fuzzy model for estimating the operational costs and applied aspects of its implementation	131
3.3 Combined model of monitoring the cost of meter penetration	143
Epilogue	162
Literature.	164

ПЕРЕДМОВА

В Україні буріння на нафту і газ ведеться на території Карпатського регіону, Донецько-Дніпровської западини та на шельфі Чорного моря. Головна особливість нинішнього процесу буріння свердловин у цих регіонах полягає у тому, що воно ведеться на значних глибинах і у складних гірничо-геологічних умовах. Все це ускладнює проводку свердловин і вимагає значних фінансових, матеріальних та енергетичних витрат. За умов, коли необхідно збільшувати обсяг буріння при обмежених фінансових ресурсах, важливого значення набуває проблема створення інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат з метою управління процесом буріння свердловини.

Роботи в напрямку оцінювання витрат на буріння нафтових і газових свердловин багато років ведуться у нашій країні і за кордоном. Зокрема, нові підходи до вирішення теоретичних і методичних проблем оцінювання, управління витратами на буріння нафтових і газових свердловин можна знайти у працях вітчизняних та зарубіжних науковців М. Александрова (РФ), М. Данилока, О. Лесюка, В. Міщенко (РФ), В. Никифорука, Х. Вудса (США), М. Вагенкнешта (ФРН), Е. Галлі (США), Б. Рендоле (США), Л. Уманського (РФ), А. Устенко, А. Мірзаджанзаде (Аз), Г. Кірія (ГР) та інших.

Однак, аналіз результатів буріння нафтових і газових свердловин в Україні показує, що традиційна ідеологія оцінювання витрат на буріння не забезпечує можливості оперативного управління цим процесом. Існуюча система розв'язує, головним чином, задачі обліку та звітності; у ній не закладено техніко-економічні моделі та методи аналізу і оперативного оцінювання витрат. Тому буріння багатьох свердловин стає збитковим. Аналіз ефективності буріння свердловин здійснюється тільки за інтегральними показни-

ками прибутків та витрат, резерви виробництва не оцінюються, рівень обґрунтованості оцінювання окремих складових витрат у практичній діяльності підприємств недостатній.

Відсутність методології ефективного оперативного оцінювання витрат на буріння нафтових і газових свердловин зумовлена тим, що процес буріння є нестаціонарним, стохастичним, розвивається у часі та протікає в умовах значної апріорної та поточної невизначеності.

Разом з тим, аналіз наукових публікацій свідчить, що недостатню увагу приділено дослідженням проблеми удосконалення оперативного оцінювання витрат бурових підприємств, не визначено концептуальні основи формування багаторівневої системи оперативного оцінювання витрат та прикладні аспекти її реалізації, не досліджено механізм оперативного оцінювання витрат з метою вибору оптимального варіанту управління процесом формування витрат на буріння нафтових і газових свердловин.

У запропонованій роботі автори поставили за мету вивчення даних питань і поглиблення наукової розробки даної проблеми на прикладі вітчизняних підприємств нафтогазовидобувного комплексу, діяльність яких зміцнює енергетичний потенціал країни.

Монографія складається з трьох розділів. У першому розділі розглянуті теоретичні та прикладні засади створення системи оперативного оцінювання витрат, дана характеристика показників процесу буріння, цільових функцій з точки зору управління процесом формування витрат. Розглянуто особливості інтегрованого оцінювання витрат у процесі буріння. Аналіз робіт у галузі оперативного оцінювання витрат підприємств і управління процесом їх формування засвідчив, що перспективним є напрямок створення методологічних засад формування інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат на буріння.

У другому розділі обґрунтовані напрямки удосконалення оперативного оцінювання витрат бурових підприємств, розроблено методика, основні методи формування досліджень та аналіз структури виробничого процесу буріння свердловин. Запропоновано економічну оцінку ефективності методів оперативного оцінювання витрат на буріння нафтових і газових свердловин. Розглянуто показники собівартості буріння нафтових і газових свердловин та сформульовано головні завдання інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат бурових підприємств.

У третьому розділі розроблено методологічні основи формування інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат на буріння нафтових и газових свердловин, які покладені в основу формування інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат. Показано, що успішна реалізація алгоритмів оперативного оцінювання витрат можливе на базі математичної моделі оперативного оцінювання витрат, яка побудована на засадах нечіткої логіки. Розглянуто прикладні аспекти її реалізації. Розроблено метод прогнозування собівартості буріння нафтових і газових свердловин на базі комбінованої моделі спостереження за собівартістю метра проходки.

Дана монографія є результатом узагальнення досліджень, які проводилися авторами на кафедрі економіки підприємства Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та у процесі практичної діяльності. Вона спрямована на допомогу фахівцям нафтогазової галузі у вирішенні важливих науково-методичних та практичних завдань.

Автори висловлюють щире подяку всім рецензентам та колегам кафедри економіки підприємства Івано-Франківського національного університету нафти і газу за корисні поради та зауваження.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Украине бурение на нефть газ ведется на территории Карпатского региона, Донецко-Днепровской впадины и на шельфе Черного моря. Главная особенность процесса бурения скважин в этих регионах состоит в том, что оно ведется на значительных глубинах и в сложных горно-геологических условиях. Все это усложняет проводку скважин и требует значительных финансовых, материальных и энергетических затрат. В условиях, когда необходимо наращивать объемы бурения при ограниченных финансовых ресурсах, важное значение приобретает проблема создания интегрированной системы оперативной оценки затрат с целью управления процессом бурения скважин.

Работы в направлении оценки затрат на бурение нефтяных и газовых скважин в течение многих лет ведутся в нашей стране и за рубежом. В частности, новые подходы к решению теоретических и методических проблем оценки, управления затратами на бурение нефтяных и газовых скважин можно найти в работах отечественных и зарубежных ученых М. Александрова (РФ), М. Данилюка, О. Лесюка, В. Мищенко (РФ), В. Никифорука, Х. Вудса (США), М. Вагенкнешта (ФРН), Е. Галли (США), Б. Рендоле (США), Л. Уманского (РФ), А. Устенко, А. Мирзаджанзаде (Аз), Г. Кирия (ГР), и других.

Однако, анализ результатов бурения нефтяных и газовых скважин в Украине показывает, что традиционная идеология оценки затрат на бурение не отвечает возможностям оперативного управления этим процессом. Существующая система решает, главным образом, задачи учета и отчетности; в ней не заложены технико-экономические модели и методы анализа и оперативной оценки затрат. Поэтому бурения многих скважин становится убыточным. Анализ эффективности бурения скважин осуществляется только по интегральным показателям прибыли и затрат, резервы производства не оцениваются, уровень обосно-

ванности оценки отдельных составляющих затрат в практической деятельности предприятий недостаточен.

Отсутствие методологии эффективной оперативной оценки затрат на бурение нефтяных и газовых скважин обусловлено тем, что процесс бурения является нестационарным, стохастическим, развивается во времени и протекает в условиях значительной априорной и текущей неопределенности.

Вместе с тем, анализ научных публикаций свидетельствует о том, что недостаточное внимание уделяется исследованиям проблемы совершенствования оперативного оценивания затрат буровых предприятий, не определены концептуальные основы формирования многоуровневой системы оперативной оценки затрат и прикладные аспекты ее реализации, не исследован механизм оперативного оценивания затрат с целью выбора оптимального варианта управления процессом формирования затрат на бурение нефтяных и газовых скважин.

В предложенной работе авторы поставили целью изучение вышеуказанных вопросов и углубление научной разработки данной проблемы на примере отечественных предприятий нефтегазодобывающего комплекса, деятельность которых укрепляет энергетический потенциал страны.

Монография состоит из трех разделов. В первом разделе рассмотрены теоретические и прикладные основы создания системы оперативной оценки затрат, дана характеристика показателей процесса бурения, целевых функций с точки зрения управления процессом формирования затрат. Рассмотрены также особенности интегрированного оценивания затрат в процессе бурения. Анализ работ в сфере оперативного оценивания затрат предприятий и управления процессом их формирования подтвердил, что перспективным является направление создания методологических основ формирования интегрированной системы оперативной оценки затрат на бурение.

Во втором разделе обоснованы направления совершенствования оперативного оценивания затрат буровых предприятий, разработана методика, основные методы формирования исследований и анализ структуры производственного процесса бурения скважин. Предложена экономическая оценка эффективности методов оперативного оценивания затрат на бурение нефтяных и газовых скважин. Рассмотрены показатели себестоимости бурения нефтяных и газовых скважин, а также сформулированы главные задачи интегрированной системы оперативной оценки затрат буровых предприятий.

В третьем разделе разработаны методологические основы формирования интегрированной системы оперативной оценки затрат на бурение нефтяных и газовых скважин, которые положены в основу формирования интегрированной системы оперативной оценки затрат. Показано, что успешная реализация алгоритмов оперативного оценивания затрат возможна на базе математической модели оперативной оценки затрат, построенной на основе нечеткой логики. Рассмотрены прикладные аспекты ее реализации. Разработан метод прогнозирования себестоимости бурения нефтяных и газовых скважин на основе комбинированной модели наблюдения за себестоимостью метра проходки.

Данная монография является результатом обобщения исследований, которые проводились авторами на кафедре экономики предприятия Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа, а также в процессе практической деятельности. Она направлена в помощь специалистам нефтегазовой отрасли в решении важных научно-методических и практических задач.

Авторы высказывают искреннюю благодарность всем рецензентам, а также коллегам кафедры экономики предприятия Ивано-Франковского национального университета нефти и газа за полезные советы и замечания.

INTRODUCTION

Drilling of oil and gas boreholes in the Ukraine is realised at Carpathian region, Donetzk-and-Dneprovsk depression territory and Black Sea shelf. The main feature of the process of drilling wells in these regions is that it is in great depths and in difficult geological conditions. All this complicates the routing of the wells and requires considerable financial, material and cost energetic expences. At a time when it is necessary to increase the volumes of drilling with limited financial resources, the importance of the problem becomes an integrated system creation for rapid assessment of the costs to manage the process of drilling wells.

The works in the direction of assessing the cost of drilling oil and gas wells for many years being in this country and abroad. In particular, new approaches to the solution of theoretical and methodological problems of evaluation, cost management for the drilling of oil and gas wells can be found in the works of Ukrainian and foreign scientists M. Alexandrov (RF), M. Danyluk, O. Lesuk, V. Mishchenko (RF), V. Nykyforuk, H. Woods (USA), M. Wagenknecht (FRG), E. Gally (USA), B. Rendole (USA), L. Umanskyi (RF), A. Ustenko, A. Mirzadzhanzade (Az), G. Kyryia (GR) ect.

However, analysis of results of drilling oil and gas wells in the Ukraine showed that the traditional ideology of assessing the cost of drilling is not in the opportunity to operative manage the process. The current system addresses primarily the problem of accounting and reporting, it did not put the economic-engineering models and methods of analysis and operative evaluation of costs. Therefore, drilling many wells became unprofitable. Analysis of the effectiveness of well-drilling is carried out only on the integral parameters of the profit and expences , production reserves are not estimated, the validity lev-

el of evaluate individual components of cost in the practice of not enough.

Lack of the methodology of effective operative assessment of the cost of drilling oil and gas wells is determined by the fact that the drilling process is unsteady, stochastic, develops over time and runs in a significant a prior and current uncertainties.

However, analysis of scientific publications suggests that insufficient attention is paid to research the problem of improving the operative estimation of drilling-costs, are not defined a conceptual framework of multi-formation system for rapid assessment of the costs and applied aspects of its implementation, not investigated the mechanism of evaluating the operational costs in order to optimize the version of management process of oil and gas well- drilling costs generation.

The proposed work of the authors had to examine the above issues and enhance the scientific development of the problem on the example of domestic oil and gas business complex, which strengthens energetichesky potential of the Ukraine.

The monograph is divided into three sections. The first section is devoted to theoretical and applied foundations of a system for operative assessment of the costs, given the performance characteristics of the drilling process, the objective functions in terms of managing of costs forming process. We consider also features an integrated estimation of costs during drilling process.

The analysis works in the field of operative estimation of the costs of enterprises and managing the process of their formation has confirmed that a promising direction is the establishment of the methodological foundations of the formation of an integrated system for operative assessment of the drilling-costs.

The second section justified directions of operative estimation of the cost of drilling enterprises, the methodology, the basic method of forming research and analysis of the structure of the production process of drilling wells are elaborated. The economic evaluation of the effectiveness of the methods of operational estimating the cost of oil and gas well-drilling is proposed. Indicators of the oil and gas well-drilling costs are considered, but also the main objectives of integrated system for operative assessment of the drilling companies costs are formulated.

In the third section the methodological framework for formation of integrated system for operative assessment of the oil and gas well-drilling costs, which form the basis for forming an integrated system for rapid assessment of costs are developed. It has been shown that the successful implementation of algorithms for estimating the operating cost can be based on a mathematical model for operative assessment of the costs based on fuzzy logic. Consider the applied aspects of its implementation. A method for predicting the oil and gas well-drilling cost based on a combined model of monitoring the cost of meter penetration is carried out.

This monograph is the result of compilation of researches that were realized at the Department of Enterprise economy of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas as well as in practice.

It aims to assist industry professionals in solving important scientific and methodological and practical challenges.

The authors express sincere gratitude to all reviewers and colleagues out of department Enterprise economy of Ivano-Frankivsk National University of Oil and Gas for helpful advice and comments.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВИТРАТ

1.1 Взаємозв'язок елементів внутрішнього бізнес-середовища підприємства

Нинішній етап економічного розвитку як на макро-, так і на мікрорівнях базується на постійному оновленні знань в усіх сферах суспільної діяльності. Сьогодні переоцінюються закономірності, які до недавнього часу були аксіомами, зокрема - чим багатша країна природними ресурсами, тим вищий її економічний та соціальний статус. Наочним прикладом цього є країни Азії, які не маючи матеріальних ресурсів Заходу перегнали його за темпами росту основних макропоказників. У зв'язку з цим організаційна система вітчизняних підприємств має переорієнтуватися з функціонального управління на управління бізнес-процесами, що забезпечить підвищення ефективності системи та її конкурентоздатність. Якщо раніше типовою була схема господарювання: ресурси - процеси - кінцевий продукт, то нині навпаки: клієнт-замовник - бізнес-процеси - ресурси. В контексті цього необхідно змінювати та обґрунтовувати нову систему показників ефективності господарювання, а саме виділяти принаймні три групи:

- показники якості продукції та індивідуальних потреб споживача;
- показники тривалості життєвого циклу товару, процесів, операцій тощо;
- показники витрат та вартості усіх видів ресурсів.

На наш погляд заслуговує на увагу виділення і детальне дослідження внутрішнього бізнес-середовища підприємства як техніко-технологічної, соціально-економічної та комерційної відкритої системи, в якій і виявляється кінцевий результат господарювання.

Приймаючи до уваги те, що в нинішніх умовах роз-

виток будь-якого підприємства необхідно розглядати як інноваційний процес, виділимо у структурі внутрішнього бізнес-середовища такі основні складові елементи (рис.1.1).

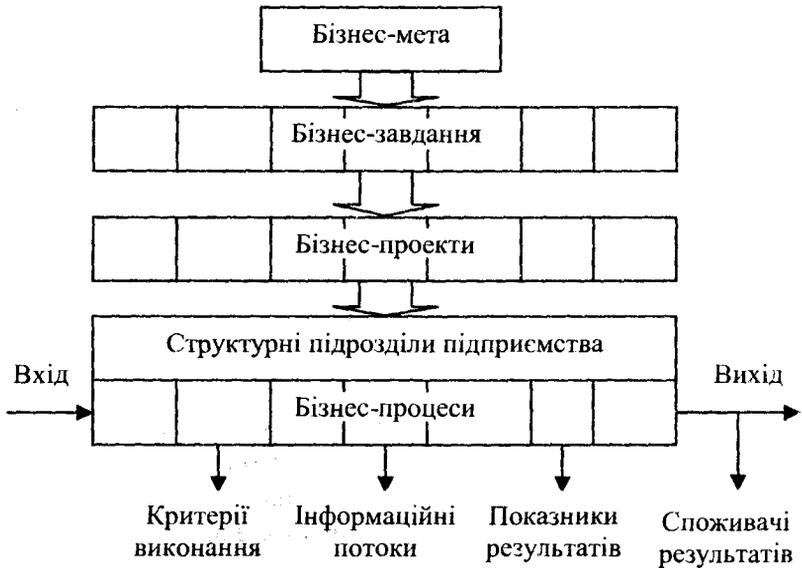


Рис. 1.1 Декомпозиція внутрішнього середовища

В основі будь-якого комерційного успіху має лежати оригінальна ідея, яка повинна трансформуватися в амбіційну бізнес-мету. Останню необхідно формулювати чітко та лаконічно, якісно (словесно) та кількісно. При цьому бажано щоб бізнес-мета мала довготерміновий характер і відображала те призначення, заради якого і створене дане підприємство. Бізнес-мета дає відповідь на питання - якого результату необхідно досягнути. Якщо узагальнювати бізнес-мету, то вона має бути націлена на максимально можливий результат відносно якості продукції, обсягу виробництва, собівартості, термінів постачання, безпеки робочих місць, екологічної безпеки та ініціативи кадрів при наявних людських, матеріальних та фінансових ресурсах.

Для досягнення поставленої бізнес-мети на відповідному рівні менеджменту генеруються стратегічні бізнес-

завдання, описуються загальні контури нового проекту, залишаючи за кожним виконавцем право вибору конкретних заходів у межах окреслених завдань. Дуже важливо професійно грамотно ставити перед колективом реальні бізнес-завдання з врахуванням насамперед інтелектуальних та інших ресурсів, фактора часу та взаємоузгоджених інтересів.

З кожним роком кількість вітчизняних підприємств, які використовують у своїй діяльності проектний підхід, зростає. Це закономірно, адже більшість новостворених бізнесових структур самі почали функціонувати внаслідок реалізації підприємницького проекту, тому проектний менеджмент для них є прийнятний. На наш погляд, будь-яке бізнес-завдання інноваційного характеру неможливо вирішити без ціленаправленого бізнес-проекту. Для підприємств, які одночасно ведуть декілька проектів, і одним із завдань є нарощення темпів розвитку, необхідно розробити таку систему, яка би консолідувала усі знання з управління проектами. Іншими словами мова йде про необхідність створення „проектного офісу”, де будуть прийматися рішення з реалізації бізнес-проекту, накопичуватися інформація у вигляді комп'ютерних моделей, системи управлінського обліку, різних методик та процедур.

Доречно відмітити, що на будь-якому підприємстві фахівцями виконується значна кількість різних процесів, які складають основу виробничо-комерційної діяльності. Власне бізнес-процеси - це деяка логічна послідовність операцій, процедур, методів, технологій, які направлені на виготовлення продукції або надання послуг. Однак ці дії розподілені у часі і просторі. Тому бізнес-процеси можна розглядати під різним кутом зору, залежно від типу знань, які необхідно отримати про них. Кожний бізнес-процес несе функціональне, поведінкове, організаційне, інформаційне, ресурсне та управлінське змістове навантаження. Зокрема, функціональна перспектива полягає у встановленні того, яка робоча процедура або елемент процесу виконується в даний момент. Поведінкова перспектива стосується часу та способу виконання процесу, системи зворотнього зв'язку і кількості повторів процесу. Організаційна пер-

спектива орієнтується на безпосередніх виконавців процесу та механізму взаємодії між ними, передачі інформації. Інформаційна перспектива зосереджується на даних та об'єктах, якими оперує процес, взаємозв'язках між різними типами даних. Ресурсна перспектива вивчає ресурси, залучені до виконання процесу, а управлінська - типи рішень, які приймаються у зв'язку з даним процесом.

Дослідження підприємства у розрізі бізнес-процесів вимагає насамперед освоєння „стилю опису” уже існуючих процесів, що дозволить побудувати цілісну модель підприємства, а також зробити висновки щодо перспектив майбутнього розвитку підприємства. Для наукової обґрунтованості побудови такої моделі доречно запропонувати класифікацію бізнес-процесів за наступними ознаками (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Класифікація бізнес-процесів підприємства

Класифікаційна ознака	Види бізнес-процесів
За сферою діяльності	- внутрішні - зовнішні - змішані
За функціональним призначенням	- основні - допоміжні - управлінські
За рівнем мінливості	- статичні - динамічні
За терміном реалізації	- короткотермінові - середньотермінові - довготермінові
За рівнем агрегованості	- загальнокорпоративні - цехові - робочого місця
За періодом дії	- постійні - епізодичні
За своїм складом	- прості - складні
За відкритістю	- явні - приховані
За рівнем вартості	- високовитратні - середньовитратні - низьковитратні

Одним із перших етапів ідентифікації бізнес-процесів є збір інформації про них. Для цього використовуються відповідні інформаційні таблиці та інші робочі форми, в яких фіксуються конкретні види діяльності виробничих одиниць, структурних підрозділів, окремих фахівців. На основі отриманої систематизованої інформації можна приступити до моделювання бізнес-процесів, під яким слід розуміти відображення суб'єктивного бачення реально існуючого на підприємстві потоку робіт у вигляді моделі, що складається із взаємозалежних об'єктів та процедур.

Загальноприйнятий підхід при моделюванні бізнес-процесів зводиться до їх послідовної декомпозиції - від загального до часткового. Спочатку всю виробничо-комерційну діяльність підприємства, яка направлена на досягнення поставленої бізнес-мети, представляють у вигляді 5-7 мегапроцесів (рис.1.2).

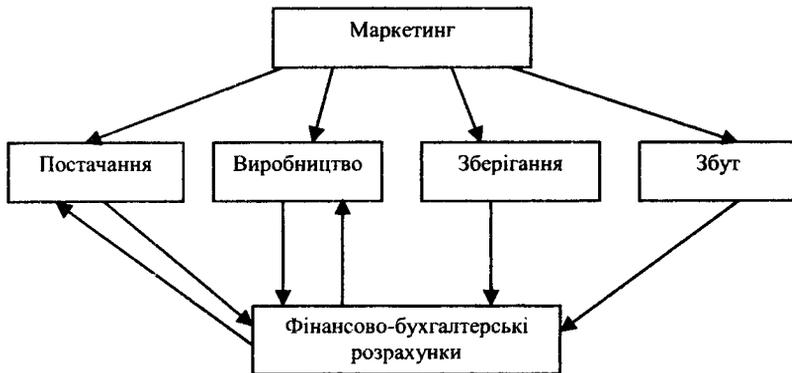


Рис. 1.2 Схема взаємозв'язку мегапроцесів виробничого підприємства

Далі кожний з представлених мегапроцесів піддається більш детальному аналізу, а саме проводиться їх декомпозиція.

На рис.1.3 представлена декомпозиція процесу „Забезпечення запланованої якості виготовлення продукції” на окремі підпроцеси.



Рис. 1.3 Декомпозиція бізнес-процесу „Забезпечення запланованої якості виготовлення продукції” на підпроцеси

Виділяючи та формуючи бізнес-процеси, закономірно виникає питання щодо оцінки економічної ефективності, співставлення результатів та витрат на їх здійснення. В кожному випадку необхідно розробляти свій алгоритм розрахунку ефективності.

1.2 Спільні характерні властивості функціонально пов’язаних бізнес-процесів

Науково-технічний прогрес у нафтогазовидобувній промисловості базується на створенні високопродуктивного обладнання, новітніх технологій та ефективних систем управління підприємствами, що дає змогу повніше використати природні ресурси України для покращення постачання промисловості, транспорту і населення такими енергоносіями як природний газ і продукти нафтопереробки.

Забезпечення економіки і соціальної сфери країни основними видами енергоносіїв покладається на паливно-енергетичний комплекс, який забезпечує країну природ-

ним газом, вугіллям, електричною та паливною енергією, всіма видами моторного та котельно-пічного палива, сировинними ресурсами для різних галузей промисловості. Тому рівень розвитку енергетики країни має визначальний вплив на стан економіки, вирішення проблем соціальної сфери та рівень життя людини.

Одним із головних завдань та напрямків реалізації “Енергетичної стратегії України до 2030 року та подальшу перспективу” є формування цілісної та дієвої системи управління і регулювання у паливно-енергетичному секторі і створення передумов для докорінного зменшення енергоємності вітчизняної продукції за рахунок впровадження нових технологій, прогресивних стандартів, сучасних систем контролю, управління та обміну на всіх етапах виробництва, транспортування та споживання енергетичних продуктів, розвитку ринкових механізмів стимулювання енергозбереження в усіх галузях економіки.

Узагальненим показником ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів країни є питомі витрати первинної енергії на одиницю валового внутрішнього продукту (ВВП) країни, тобто енергоємність ВВП, яка на сьогодні становить 0,89 кг умовного палива на 1 долар США з урахуванням паритету реальної купівельної спроможності. Це у 2,6 рази перевищує середній рівень енергоємності ВВП країн світу [1].

Причиною високою енергоємності є надмірне споживання в усіх галузях економіки енергетичних ресурсів на виробництво одиниці продукції, що зумовлює відповідне зростання імпорту вуглеводнів в Україну.

Згідно з базовим сценарієм “Енергетичної програми” до 2030 року прогнозується збільшення ВВП майже у 3 рази, а споживання первинних енергоносіїв – тільки на 47,5 % [1]. Обсяги власного видобування нафти з газовим конденсатом зростатимуть, досягнувши рівня 5,1 млн.т/рік до 2010 року та 5,3 млн.т/рік у 2015р.

У подальшому обсяги видобування нафти з власних родовищ стабілізуються на рівні 5,4 млн.т/рік (рис.1.4,1.5).

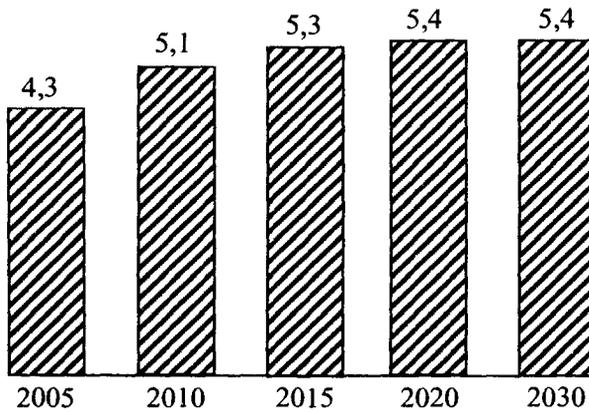


Рис. 1.4 Обсяги власного видобування нафти з газовим конденсатом за базовим сценарієм, млн.т

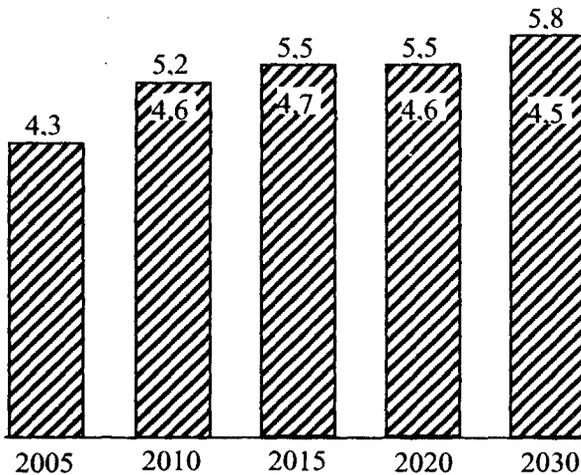


Рис.1.5 Видобуток нафти з газовим конденсатом на Україні за оптимістичним сценарієм, млн.т

Усього за прогнозний період з 2006 по 2030р. буде видобуто 133,9 млн.т нафти з газовим конденсатом. Цьому сприятиме збільшення до 2010 року обсягів пошуково-розвідувального буріння свердловин до 185 тис.м на рік, що майже у 6 разів перевищує фактичний обсяг пошуково-розвідувального буріння нових свердловин у 2004р.

Стосовно природного газу, то у 2005р. споживання його склало 76,4 млрд.м³, в тому числі для населення – 17,3 млрд.м³, на виробничо-технологічні потреби газовидобувних та газотранспортних підприємств, сировину та втрати 9 млрд.м³.

Динаміка видобування природного газу за базовим та оптимістичним сценаріями представлена на рис.1.6 і 1.7.

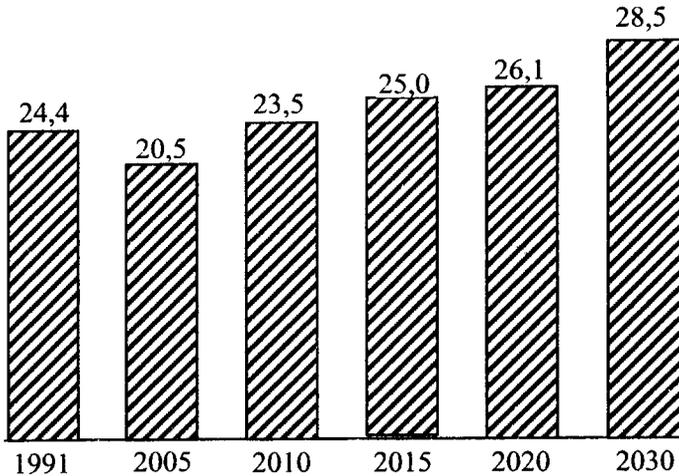


Рис. 1.6 Динаміка видобування газу в Україні за базовим сценарієм, млрд. м³



Рис. 1.7 Видобуток природного газу на території України за оптимістичним сценарієм, млрд.м³

На підставі розвитку вітчизняної економіки здійснено прогноз зростання ВВП на період до 2030 року. Базовим сценарієм передбачається зростання ВВП майже у 3 рази.

Реалізація стратегії енергетичної програми дає змогу очікувати, поряд з іншими, зниження енергоємності ВВП з 0,89 кг у.п. на 1 долар США з урахуванням паритету реальної купівельної спроможності (ПКС) у 2005 до 0,41 кг у.п. на 1 долар США (з урахуванням ПКС) у 2030р. за рахунок структурного та технологічного енергозбереження. Проте, існуючі суттєві досягнення в галузі технологій, нафтогазового обладнання, методів управління підприємствами не складають цілісної системи, що не дозволяє повністю використати можливості нафтогазовидобувної промисловості з інтенсифікації процесів видобування вуглеводнів, зменшенню витрат енергії, матеріалів та палива. Технологічні установки, як правило, працюють в режимах які не є оптимальними, перехід з одного режиму на інший не здійснюється оперативно, визначення та підтримання оптимальних режимів ускладнюється відсутністю необхідних способів управління бізнес-процесами, їх інформативного, програмного та технічного забезпечення. Тому, як свідчить світовий досвід [6], за умов обмежених ресурсів одним з найбільш ефективних інструментів виживання і розвитку компаній є пошук та використання потенціалу, закладеного в систему управління. Покращення якості управління, зокрема, веде до підвищення ефективності використання всіх наявних ресурсів підприємства. І, навпаки, недоліки управління ведуть до матеріальних втрат як за принципом доміно: недоліки документації ведуть до недоліків персоналу, далі – до недоліків процесів, потім вони проявляються і приводять до матеріальних втрат.

Значному підвищенню ефективності бізнес-процесів видобування газу і нафти сприяло застосування автоматизованого управління підприємствами як складними системами, що містять сумісно функціонуючі технологічні комплекси, автоматизовані системи керування ними та автоматизовану систему управління підприємством, виходячи з єдиної мети – підвищення ефективності виробництва. На кожному

рівні управління менеджер для якісного виконання своїх функцій повинен розуміти і розв'язувати у своїй повсякденній діяльності комплекс ключових задач управління [6], який наведений на рис.1.8. Як бачимо, цілеспрямована діяльність менеджера базується на використанні невід'ємного зворотнього зв'язку контролю за фактичним станом справ.

З позиції класифікації бізнес-процесів [2], буріння нафтових і газових свердловин це бізнес-процес розвитку, оскільки не створює реального прибутку та спрямований на одержання вигоди в довготривалій перспективі, забезпечує розвиток діяльності нафтогазовидобувної компанії.

Основними бізнес-процесами є бізнес-процеси, які пов'язані з видобуванням нафти і газу та їх збутом.

Інші – є підтримуючими бізнес-процесами. Вони є постачальниками головних бізнес-процесів, забезпечують інфраструктуру компанії. В нафтогазовидобувній компанії процеси управління повинні бути націлені на управління основними і підтримуючими бізнес-процесами компанії, а також бізнес-процесами розвитку (пошуково-розвідувальне буріння свердловин та буріння експлуатаційних свердловин).

Підприємства нафтогазовидобувної галузі проектувались та введені в дію без розв'язання задач оптимізації технологій, процесів та обладнання, тому особливого значення набувають питання оперативного оптимального управління не тільки технологічними комплексами, але й процесами формування витрат підприємств галузі.

Отже, розробка і розвиток теоретичних засад управління бізнес-процесами підприємств нафтогазової промисловості є важливою науково-практичною проблемою в сучасних умовах господарювання.

У нафтогазовидобувній промисловості формування витрат підприємств характеризуються значною кількістю функціонально пов'язаних процесів. Це процес формування витрат на буріння свердловин, видобування нафти і газу, збір і підготовку нафти і газу, розділення водонафтових емульсій, обезсолювання нафти, низькотемпературну сепарацію газу, абсорбційне осушення газу, переробку газу, розподіл газу та ін.

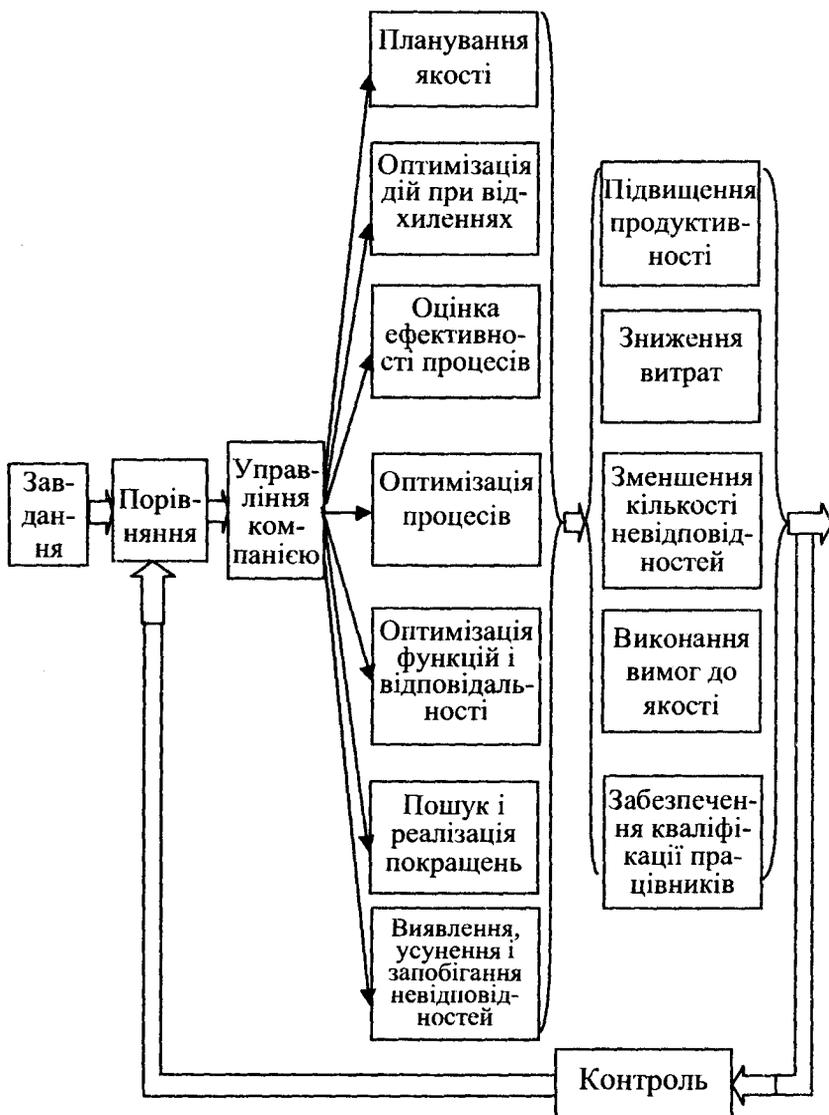


Рис.1.8 Комплекс ключових задач управління для менеджменту компанії

З точки зору загальної теорії систем [4] досліджувані процеси формування витрат об'єднуються рядом характер-

них властивостей, серед яких для вирішення задач управління процесами формування витрат найважливішими є:

- наявність ієрархічної структури управління, що обумовлено існуванням глобальної мети бізнес-системи управління та локальних цілей окремих підсистем;
- можливість управління підсистемами з використанням різних критеріїв – економічних, техніко-економічних, технологічних;
- існування задач оптимізації при управлінні підсистемами і часто необхідність векторної оптимізації, як результат урахування різноманітних цілей їх функціонування та поганої формалізованості бізнес-процесів;
- наявність значної кількості взаємозв'язаних підсистем із складними структурними та функціональними зв'язками між ними;
- обмеженість автономності підсистем, що викликає необхідність узгодження та координації їх сумісної роботи;
- наявність агрегатів (бурових верстатів, морських платформ та ін.) великої одиничної потужності, які з точки зору задач управління мають несприятливі властивості: нелінійність, багатовимірність, розподіленість координат, високий рівень виробничих шкідливих сигналів;
- можливість постановки задачі статичної або квазістатичної оптимізації витрат технологічних процесів на основі прийнятності припущення щодо малої тривалості перехідних процесів в порівнянні з періодом зміни збурень;
- велика розмірність векторів координат стану, вихідних змінних, збурень та управлінь;
- необхідність управління в реальному часі;
- необхідність та принципова можливість опису властивостей окремих процесів формування витрат математичними моделями, побудованими на принципах нечіткої логіки, використання їх у бізнес-системах управління.

Питання управління процесом формування витрат підприємств є важливою і актуальною науково-практичною задачею ще у зв'язку з впровадженням у нафтогазовидобувній промисловості сучасних корпоративних систем управління підприємствами, що базуються на ідеології

єдиного інформаційного поля. Такі системи характеризуються наявністю наскрізного вертикального потоку даних між системами управління окремими процесами на рівні оператора до системи забезпечення прийняття управлінських рішень на бізнес-рівні. Результатом такого підходу стає зниження витрат і підвищення якості продукції за рахунок збільшення ефективності і повноти використання технологічних можливостей підприємства. Реальною необхідністю виробництва стає впровадження MES-систем управління (Manufacturing Execution Systems) [2], які дають змогу виявити суттєві виробничі події, здійснювати їх аналіз і на базі його приймати зважені рішення, які підвищують ефективність виробництва.

Сьогодні на типовому промисловому підприємстві більшість задач на рівні безпосереднього керування (АСКТП – автоматизовані системи керування технологічними процесами, або HMI/SCADA Human Machine Interface/Supervisory Control And Data Acquisition) і на рівні управління підприємством (АСУП – автоматизовані системи управління підприємством, або ERP – Enterprise Resource Planning) вже вирішуються автоматизованим способом. Проте, часто між ними не існує сталого інформаційного зв'язку, без якого неможливе подальше підвищення ефективності виробництва. MES-системи, наприклад, компанії GE Fanuc [2] усувають цей інформаційний вакуум і можуть бути використані для перетворення даних реального часу в інформацію, яка має суттєве значення в бізнес-системах управління. MES-системи дають суттєві переваги, а саме:

- мінімізують час реагування на виробничі події;
- сприяють оптимізації витрат ресурсів та зниженню простоїв обладнання.

Отже, проведений аналіз показує, що рівні SCADA, MES і ERP покликані доповнювати один одного і жодна з цих програмних технологій, взятих окремо, не може ефективно розв'язувати задачі управління витратами підприємств в масштабах усього підприємства.

ERP-рішення бізнес-рівня управління повинні базуватися на інтеграції задач з управління підприємством, по-

чинаючи з рівня АСКТП. Ці завдання можуть бути вирішені за допомогою MES-систем. Перелік завдань, які вони розв'язують подано на рис.1.9, з якого бачимо, що MES-системи призначені для вирішення різноманітних задач, об'єднаних в 11 основних груп.



Рис.1.9 Перелік завдань, які розв'язуються MES-системами [2]

Найбільш важливими функціями MES-систем управління виробництвом можна назвати задачі оперативного планування (ODS), контролю і управління якості продукції (QM), диспетчерського управління і контролю ефективності (DPU). Саме ці головні функції входять до складу Plant Application-MES-компоненти програмного рішення Proficy.

Proficy Plant Application – це набір аналітичних модулів для підвищення ефективності управління виробничими процесами. На базі даних реального часу розв’язуються задачі оперативного управління, моніторингу продуктивності і втрат, простоїв обладнання, формування історії, управління якістю та ін.

Модулі системи здатні інтегруватися до загальної системи прийняття рішень на різних рівнях управління. Аналіз процесів формування витрат передбачає побудову комплексу моделей виробництва і динамічних зв’язків між даними та подіями, які в свою чергу, збираються засобами АСКТП до єдиної бази даних.

Побудова моделі підприємства передбачає розробку ієрархічної структури виробничого об’єднання типу “нафтогазовидобувні підприємства – цехи – технологічні процеси – установки – групи параметрів - змінні”. Змінні моделі є посиланнями на дані певного джерела: архіву, ручного вводу, розрахунків і т.п., і типу (аналогові, дискретні, стрічкові).

Дослідженнями [22] доведено, що використання потенціалу, закладеного у бізнес-системах управління, є одним із найбільш ефективних інструментів підвищення конкурентоспроможності і розвитку нафтових компаній.

А одним із способів ефективного використання резервів управління є також впровадження в організаціях системи менеджменту якості (СМК), розробленої в Росії у відповідності з вимогами міжнародних стандартів ISO серії 9000, що дозволяє покращити якість керування організацією шляхом управління якістю всіх процесів і видів діяльності.

Впровадження СМК сприяє:

- підвищенню надійності, безпеки, ефективності, інвестиційної привабливості підприємства;

- забезпечення стійкості компанії, розвитку бізнесу.

Отже, за умов ринкової економіки значно підвищується роль бізнес-систем управління. Такі системи дають суттєві переваги, серед яких мінімізація втрат підприємств і часу реакції на виробничі події, зниження простоїв обладнання, підвищення якості продукції і оптимізація витрат ресурсів. Визначено спільні характерні властивості функціонально зв'язаних бізнес-процесів розвитку і основного бізнес-процесу на прикладі підприємств-видобувачів вуглеводнів, що дало змогу зробити висновок щодо необхідності постійного інформаційного зв'язку між автоматизованими системами управління технологічними процесами і автоматизованими системами управління бізнес-процесами з метою отримання даних реального часу у вигляді інформації, придатної для ефективного управління підприємством.

1.3 Показники процесу буріння, цільові функції та витрати бурових підприємств

Високі темпи зростання видобутку нафти і газу в нашій країні можуть бути забезпечені, крім введення в розробку нових нафтових і газових родовищ, впровадженням нових технологій і техніки, підвищенням продуктивності процесу буріння свердловин за рахунок використання оперативного оцінювання витрат та короткотермінового планування. Від того, як швидко, якісно і дешево ведуться бурові роботи, залежить рентабельність видобутку нафти і газу.

Процес буріння свердловини незалежно від способу буріння складається з чотирьох послідовних операцій:

- спуск колони бурильних труб з долотом у свердловину до вибою;
- руйнування породи долотом;
- підйом колони бурильних труб із свердловини для заміни відпрацьованого долота;
- спуск обсадної колони.

Крім вказаних вище основних операцій, здійснюються додаткові роботи: періодичні виміри напрямку стов-

бура свердловини; геофізичні вимірювання; відбір зразків порід; відбір проб промивальної рідини та інші. Тому процес буріння свердловин розглядають як технологічний комплекс, що зумовлений рядом перерахованих вище взаємопов'язаних операцій [4, 16, 21].

При управлінні буровим підприємством, яке має одну і більше бурових установок, виникають дві основні задачі:

- управління будівництвом свердловини, технологічними процесами і агрегатами кожної бурової установки;
- управління підприємством загалом.

Ці задачі відрізняються як розв'язками так і характером необхідної інформації. Ефективність роботи окремої бурової установки оцінюють за даними про добову проходку та якість свердловини, а також за економічним показником. Для визначення ефективності роботи бурового підприємства в цілому, яке є системою більш високого рангу, необхідна інформація щодо кількості введених в експлуатацію свердловин, швидкості буріння, рентабельності, прибутку тощо [5, 9, 19, 34].

Першочерговою задачею при оперативному оцінюванні витрат в процесі буріння нафтових і газових свердловин є вибір вхідних і вихідних параметрів. Критерієм при вирішенні питання про зарахування тієї чи іншої величини до категорії керованих або контрольованих служить ступінь впливу цієї величини на техніко-економічні показники процесу. На рис. 1.10 наведена модель "вхід-вихід" процесу буріння [22].

Деякі вхідні параметри у процесі буріння можуть змінюватися керуючим органом. До керованих величин відносять осьове навантаження P на долото, швидкість його обертання n , витрати промивальної рідини Q і сукупність параметрів промивальної рідини $(W_p)_{вх}$.

Сучасні бурові установки [17] дозволяють здійснювати регулювання осьового навантаження на долото в широкому діапазоні, тому воно є основним вхідним параметром (керуючим впливом).

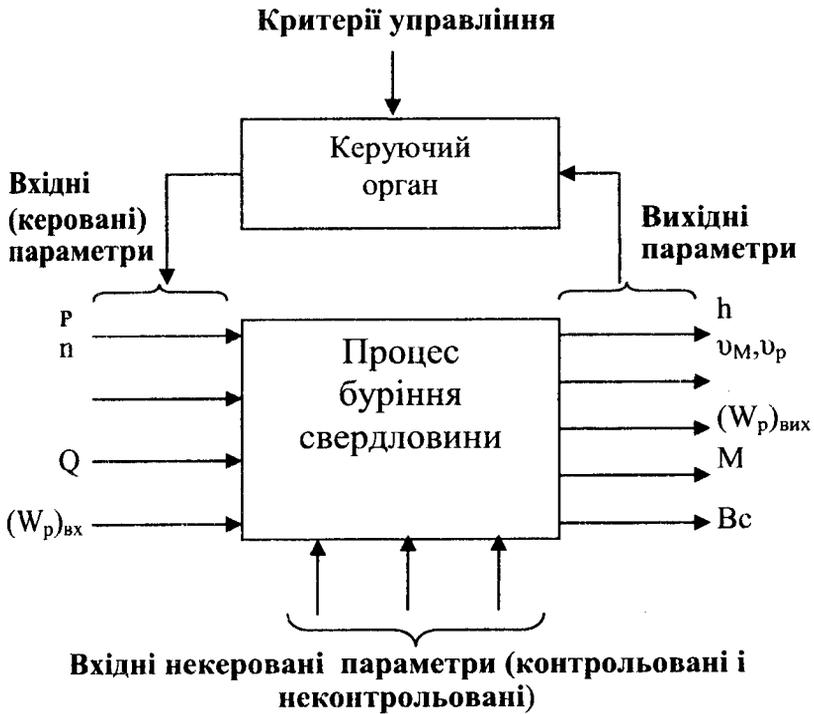


Рис. 1.10 Модель "вхід-вихід" процесу буріння нафтових і газових свердловин

Швидкість обертання долота при роторному способі буріння та електробурінні змінюється ступенево, при чому, електробуріння передбачає заміни одного типу електробуру іншими, що мають електродвигуни з різною кількістю пар полюсів. Електробуріння є найбільш перспективним, оскільки тут можна застосувати частотне керування, яке дає змогу змінювати швидкість обертання у широкому діапазоні. При турбінному бурінні швидкість обертання є функцією осьового навантаження на долото.

Витрати промивальної рідини – це третій вхідний параметр, від якого залежить ступінь очистки свердловини. Звичайно процес буріння проектується таким чином, щоб очистка вибою була досконалою, тоді відпадає необхідність у регулюванні витрат промивальної рідини.

Некеровані вхідні параметри це ті, що взагалі не можуть змінюватись (потужність електродвигунів, тип спуско-підйимального механізму та інші), або встановлюються лише на початку рейсу (тип долота, компоновка бурильної колони, тип турбобура, електробура). Основними вихідними параметрами процесу буріння є механічна швидкість буріння v_m , проходка h , сукупність параметрів промивальної рідини $(W_p)_{вих}$ на виході із свердловини, собівартість метра проходки B_c , рейсова швидкість буріння v_p , обертальний момент M .

Процес буріння свердловин відноситься до розряду випадкових, тому параметри режиму буріння та їх взаємозв'язок з показниками процесу визначаються імовірнісними і статистичними характеристиками, а саме – дисперсією, спектральною густиною, математичним сподіванням, автокореляційною та взаємно-кореляційною функціями.

Отже, буріння нафтових та газових свердловин – це надзвичайно складний процес з великою кількістю каналів для передачі збурень. Він також містить велику кількість взаємозалежних елементів та характеризується значною кількістю параметрів.

Бурові установки, як економічні об'єкти управління, мають ряд особливостей, що відрізняють їх від інших промислових об'єктів, а саме:

- бурова установка функціонує в умовах безперервно діючих збурень випадкового характеру;
- для підтримування керованої величини на заданому рівні змінюють не приплив енергії, а осьове зусилля на долото, яке впливає на енергію;
- бурова установка має здатність самокерування, яке зумовлене властивостями механічних характеристик асинхронних електродвигунів і турбобурів.

Отже, вони належать до класу складних об'єктів. Їх називають виробничими комплексами, тобто промисловими виробництвами, функціонування яких можливе лише за участі колективу людей, які здійснюють управління. Діяльність такого виробничого комплексу обумовлена не тільки роботою технічних пристроїв і агрегатів, що входять до його складу, але й дією економічних законів. Тому буріння

свердловини на нафту і газ відносять до класу економічних об'єктів.

Аналіз показує, що буріння свердловини на нафту і газ має також всі основні ознаки складних систем. Це, зокрема, різномірність підсистем і елементів, що створюють систему та багатокритеріальність оцінок процесів, які протікають у системі. Характерними для буріння свердловин є також унікальність, велика кількість визначальних взаємозалежних параметрів і факторів, неповнота і невизначеність інформації щодо функціонування системи.

Взаємозв'язок елементів системи ілюструється на рис.1.11 [3], з якого бачимо, що буріння свердловини є сукупністю трьох взаємодіючих підсистем: електричної, механічної, гідродинамічної.

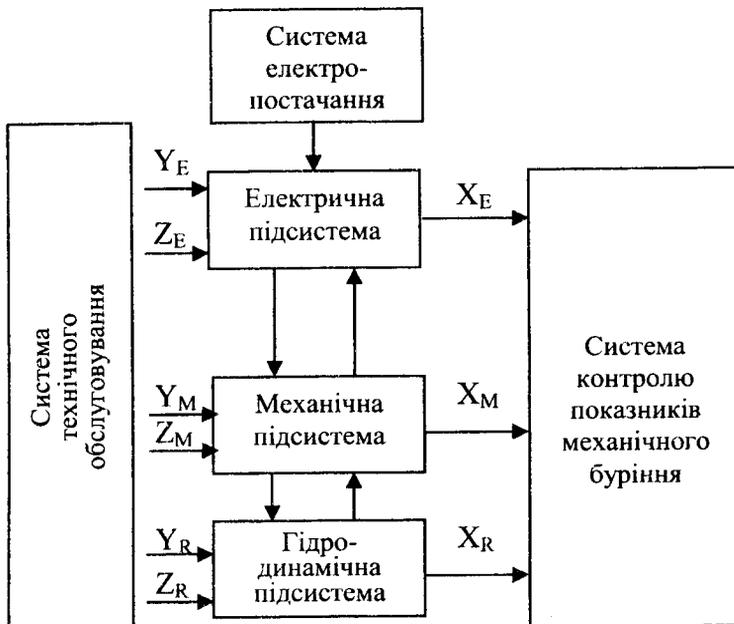


Рис.1.11 Модель взаємодії трьох підсистем у системі „буріння свердловини”

Буріння свердловини здійснюється у механічній та гідродинамічній підсистемах, що об'єднують пласт гірських порід, свердловину, колону бурильних труб, долото,

роторний механізм, талеву систему, лебідку та обладнання насосів у єдину систему, в якій здійснюється руйнування гірських порід за допомогою долота, рух бурового розчину до вибою свердловини та його підйом разом зі шламом на поверхню.

Електрична підсистема містить елементи електропостачання та електроприводів. До елементів електропостачання відносяться силові трансформатори і розподільчі пристрої; до елементів електроприводів – електроприводи насосних, компресорних установок, лебідки, роторного механізму, допоміжних механізмів, що встановлені на буровій установці.

Режим роботи електричної, механічної та гідромеханічної підсистем і показники X_E , X_M , X_R залежать від керуючих впливів Y_E , Y_M , Y_R та різноманітних збурюючих факторів Z_E , Z_M , Z_R , які мають випадковий характер та великі динамічні можливості. Ця обставина веде до створення складних динамічних процесів, які відбиваються на технологічних, енергетичних та економічних показниках роботи системи буріння свердловини.

Різноманітність підсистем та їх елементів проявляється у фізичній різноманітності, а також у різноманітності фізичних законів та математичних моделей, що описують їх функціонування. Так, у гідродинамічній підсистемі приток рідини з пласту у свердловину здійснюється відповідно до лінійних та нелінійних законів Дарсі, тиск стовпа рідини в свердловині визначається законами Паскаля.

Розглянуті підсистеми являють собою досить автономні частини системи буріння свердловини і забезпечують її функціонування та взаємодію з оточуючим середовищем.

Механізму взаємодії підсистем з оточуючим середовищем притаманна також різноманітність фізичної природи та математичних моделей, що описують ці взаємодії. Існуюча багатокритеріальність оцінок процесів, які мають місце в системі, пов'язана з тим, що ефективність кожної з підсистем оцінюється за власними критеріями, які іноді суперечливі.

Результати буріння свердловини на нафту і газ характеризуються системою взаємозалежних показників, які розрізняються за змістом та призначенням.

Для визначення тривалості буріння і кріплення складають баланс календарного часу буріння та кріплення:

$$T_{\text{бк}} = t_m + t_{\text{сн}} + t_{\text{ндр}} + t_{\text{кр}} + t_p + t_{\text{ус}} + t_a + t_n, \quad (1.1)$$

де t_m - час на механічне буріння;

$t_{\text{сн}}$ - час на спуско-підймальні операції;

$t_{\text{ндр}}$ - час на підготовчо-допоміжні роботи (заміна долота, перевірка вибійних двигунів, підготовка промивальної рідини);

$t_{\text{кр}}$ - час на кріплення свердловини (спуск обсадної колони та її цементування);

t_p - час на ремонтні роботи (профілактика обладнання, усунення пошкоджень);

$t_{\text{ус}}$ - час на ліквідацію ускладнень, що виникають у стовбурі свердловини з геологічних причин;

t_a - час на ліквідацію аварій;

t_n - час простоїв з організаційно-технічних причин.

При нормуванні часу механічного буріння використовують місцеві норми для конкретного родовища. Крім нормативної тривалості визначають планову тривалість буріння і кріплення $T_{\text{бк}}^{\text{пл}}$, яка є основою планування обсягів буріння та його вартості. Вона визначається з урахуванням часу на ліквідацію ускладнень та непродуктивного часу. Баланс календарного часу та його окремі елементи використовуються для визначення різних швидкостей буріння, які відображають темпи буріння свердловини.

Середня механічна швидкість буріння визначається

$$v_i = \frac{\Delta h}{\Delta t}, \quad \text{м/год}, \quad (1.2)$$

де Δh - приріст проходки за час Δt , м;

Темп проходки свердловини оцінюють за досягнутою рейсовою швидкістю буріння свердловини:

$$v_p = \frac{h_p}{t_{cno} + t}, \quad \text{м/год}, \quad (1.3)$$

де h_p - проходка за один рейс долота, м;
 t_{cno} - час, що витрачається на один спуск і підйом інструменту, год;
 t - час роботи долота на вибої свердловини, год.

Економічна швидкість буріння свердловини визначається:

$$v_e = \frac{h}{t_{cno} + \frac{B_o}{B_o} + t}, \quad \text{м/год}, \quad (1.4)$$

де h - поточна проходка, м;
 B_o - вартість долота, грн;
 B_o - вартість однієї години роботи бурової установки, грн/год.

Витрати можуть бути оцінені за собівартістю метра проходки:

$$B_C = \frac{B_o(t_{cno} + t) + B_o}{h}. \quad \text{грн/м}. \quad (1.5)$$

Недоліком вказаних вище показників є те, що вони визначаються лише після завершення рейсу долота. Тому важливою задачею є розробка математичної моделі процесу буріння, яка пов'язувала би вартість метра проходки або величину рейсової швидкості з поточними значеннями параметрів режиму буріння і спуско-підймальних операцій.

Технічна швидкість буріння визначається проходкою за 1 місяць продуктивної роботи бурової установки:

$$v_m = \frac{H^* \cdot 720}{t_{np}}, \quad \text{м/верст-міс}. \quad (1.6)$$

де H^* - загальна проходка (планова або фактична) за визначений період часу (глибина свердловини), м;
 720 - тривалість 1 верст-міс. буріння, год;

t_{np} - продуктивний час буріння, год.

Показник v_m використовується для порівняльної оцінки ефективності нової техніки різних способів буріння. За його допомогою з'ясовують ступінь інтенсивності використання обладнання.

Комерційна швидкість буріння визначається проходкою за 1 місяць роботи бурової установки:

$$v_k = \frac{H \cdot 720}{t_{bk}}, \text{ м/верст-міс.}, \quad (1.7)$$

де t_{bk} – час роботи бурової установки, год.

Комерційна швидкість залежить від факторів техніко-технологічного та організаційного характеру. Розрізняють нормативну і планову комерційні швидкості.

Величину швидкості V_k враховують при розрахунку потреби у матеріально-технічних та оборотних засобах.

Збільшення комерційної швидкості буріння зумовлюється скороченням та ліквідацією непродуктивного часу, зменшенням абсолютних витрат продуктивного часу шляхом збільшення швидкості проведення різних операцій. Все це може бути досягнуто шляхом удосконалення бурової техніки і технології, механізації окремих операцій, покращення організації виробництва.

Комерційна швидкість буріння суттєво залежить від ступеня організації виробництва та оперативності управління буровими роботами, та впливає на фінансові результати будівництва свердловини.

Циклова швидкість буріння свердловини:

$$v_u = \frac{H \cdot 720}{t_u}, \text{ м/верст-міс.}, \quad (1.8)$$

де t_u - тривалість циклу будівництва свердловини, год.

Циклова швидкість характеризує технічний та організаційний рівень бурових робіт, а також ефективність спільних дій бригад, що приймають участь у циклі спорудження свердловини.

дження свердловини (вежо-монтажних, бурових бригад і бригад з випробування свердловини).

Буріння нафтових і газових свердловин – основний процес підготовки запасів нафти і газу та створення основних виробничих фондів нафтовидобувної та газової промисловості, що надає особливого значення зниженню його вартості.

Головним показником, що відображає фінансові результати спорудження свердловини є собівартість. Вона виражає у грошовому вигляді всі витрати бурового підприємства на спорудження свердловини і на здавання її в експлуатацію нафтогазовидобувному управлінню. Витрати на спорудження свердловини складаються з витрат на підготовчі роботи з спорудження свердловини; витрат на спорудження та розробку наземних споруд, монтаж та демонтаж обладнання; витрат власне на буріння свердловини та на основні і допоміжні матеріали; вартості палива та енергії, отриманих із зовні; витрат на основну та додаткову заробітну платню; витрат на експлуатацію бурового обладнання та інструменту, транспортних витрат, амортизаційних відрахувань; витрат на випробування свердловини на продуктивність, промислово-геофізичні роботи; накладних витрат тощо.

Формування собівартості спорудження свердловин зумовлене комплексом бурових робіт. Це ряд послідовних станів накопичення витрат, кожний з яких відповідає стадії спорудження свердловини.

Перший етап об'єднує витрати на підготовчі до спорудження свердловини роботи. Другий етап пов'язаний з монтажем бурової вежі. Третій етап об'єднує витрати на проходку свердловини, що змінюються залежно від глибини свердловини, умов буріння у досить широких межах. Четвертий етап охоплює витрати на розмежування пластів (кріплення та цементування свердловини). П'ятий етап пов'язаний з випробуванням свердловини на приплив нафти і газу. Шостий етап охоплює витрати з демонтажу обладнання і вежі.

Собівартість бурових робіт формується з врахуван-

ням ряду особливостей буріння свердловин: різнотинності свердловин, різноманітності складу робіт та витрат на різних стадіях будівництва свердловин, змін умов буріння по мірі заглиблення свердловин.

На рівень та структуру собівартості буріння свердловин впливають також геологічні та економіко-географічні умови, технічний та організаційний рівень виконання робіт.

Витрати, що формують собівартість будівництва свердловини, групуються у наступні розділи кошторису .

Розділ I. Підготовчі роботи до спорудження свердловини. Він включає в себе витрати на підготовку майданчика для бурової, влаштування під'їзних шляхів, прокладання і розробку трубопроводів, спорудження силових, телефонних ліній тощо.

Розділ II. Спорудження та розробка наземних споруд, монтаж та демонтаж обладнання. Цей розділ об'єднує витрати на спорудження бурових веж, котельних, монтажу та демонтажу бурового обладнання та котельних установок.

Розділ III. Буріння свердловин. У цьому розділі концентруються витрати на проходку та кріплення свердловин.

Розділ IV. Випробування свердловин на продуктивність. До загальної собівартості будівництва свердловин включаються також витрати на геофізичні роботи та накладні витрати.

Враховуючи, що найбільшу питому вагу у загальній собівартості будівництва свердловин мають витрати на буріння свердловини, розглянемо цю групу у розрізі статей калькуляції.

1. Матеріали. Ця стаття вимагає витрат на матеріали, що використовуються при бурінні та кріпленні свердловини. До них належать: обсадні труби, тампонажний цемент, глина, реагенти, обважнювач, технічна вода.
2. Основна заробітна плата. Ця стаття включає в себе тільки основну заробітну платню робітників бурових бригад та робітників з підготовки промивальної рідини та кріплення свердловин.
3. Витрати на експлуатацію бурового обладнання та ін-

струменту. Ця стаття об'єднує витрати, пов'язані з утриманням та експлуатацією бурового обладнання та інструменту, бурильних труб, турбобурів та доліт.

4. Транспортні витрати. Ця стаття об'єднує витрати на перевезення вантажів зі складів на бурові, на перевезення вахт, на утримання обслуговуючого транспорту, що використовується для доставки дрібних матеріалів на обслуговування свердловини.
5. Енергетичні витрати. Ця стаття пов'язана зі споживанням різних видів енергії – електроенергії, енергії двигунів внутрішнього згорання та пару, що використовується на проходку та кріплення свердловини.
6. Інші послуги допоміжних виробництв та інші витрати. Ця стаття містить витрати на тампонажні роботи, експлуатацію котельні, поточні ремонти, що виконуються сторонніми організаціями.

Для виявлення резервів зниження собівартості спорудження свердловин важливе значення має вивчення її структури по статтях калькуляції. Структура собівартості бурових робіт узагальнює вплив всіх факторів на її формування. Аналіз показує, що витрати на буріння складають 50,2-70,7% для експлуатаційного буріння і 53,6-74,4% для розвідувального буріння від загальної собівартості будівництва свердловин. Тобто саме процес буріння є домінуючим у формуванні фактичної собівартості спорудження свердловин.

Великі резерви зменшення витрат на буріння пов'язані з прискоренням виконання бурових робіт.

Тому встановлення впливу швидкості буріння на його собівартість має особливе значення для розрахунків ефективності нової бурової техніки, планування та аналізу собівартості буріння.

У зв'язку з цим витрати на буріння поділяють на витрати, що залежать від швидкості буріння і такі, що не залежать від неї.

Витрати, що залежать від швидкості буріння у свою чергу поділяються на дві групи: витрати, що повністю залежать від швидкості буріння, та витрати, що залежать від неї частково.

Перша категорія витрат обернено пропорційна зміні швидкості буріння. До неї відносяться: витрати на оплату праці бурової бригади та додаткових робітників, утримання бурового обладнання, вежі, витрати на встановлену потужність електроустановки, енергію двигунів внутрішнього згоряння, технічну воду, прокат турбобурів, бурильних труб, перевозку вахт.

Зв'язок цієї групи витрат та швидкості буріння можна виразити рівнянням гіперболи:

$$B_{v_k} = a_0 + \frac{a_1}{v_k}, \quad (1.9)$$

де B_{v_k} - собівартість 1м проходки даної підгрупи витрат, грн.;

v_k - комерційна швидкість буріння, м/верст-міс.
 a_0 та a_1 - параметри рівняння гіперболи.

Але цей зв'язок та параметри рівняння можуть бути встановлені лише методом ретроспективного аналізу.

Витрати, що частково залежать від швидкості буріння, знижуються з певним відставанням від росту швидкості. До них відносяться: витрати на матеріали, електроенергію, хімреагенти, транспорт реагентів та об'яжнювача, накладні витрати. Залежність собівартості 1м проходки по цій групі витрат від швидкості буріння можна виразити рівнянням параболи другого порядку:

$$B'_{v_k} = a_0 + a_1 v_k + a_2 v_k^2, \quad (1.10)$$

де a_0, a_1, a_2 - емпіричні коефіцієнти, що визначаються за результатами кореляційно-регресійного аналізу після завершення буріння свердловини.

Залежність загальної зміни собівартості 1м проходки від швидкості буріння визначається цими групами витрат і має гіперболічний характер.

До витрат, що не залежать від швидкості буріння, належать всі інші витрати на будівництво свердловин.

Витрати, пов'язані зі швидкістю буріння, складають 60-65% загальної вартості будівництва свердловин. Проте,

їх питома вага суттєво змінюється залежно від ряду факторів – рівня швидкості буріння, глибини свердловини, складності умов буріння, обсягів підготовчих робіт. За низької швидкості буріння питома вага витрат, пов'язаних з нею, максимальна, а за високої швидкості – найменша. Із збільшенням швидкості буріння у структурі собівартості збільшується питома вага матеріальних витрат у зв'язку із збереженням величини витрат, що не залежить від швидкості буріння (обсадні труби, цемент та ін.).

Здешевлення буріння – лише один з видів економічного ефекту, що зумовлюється його прискоренням. Інші наслідки прискорення буріння – це скорочення термінів розвідки та розробки родовищ, підвищення ефективності капітальних вкладень, підвищення ефективності використання основних та оборотних засобів.

На склад та рівень витрат особливий вплив мають глибина свердловини, буримість гірських порід, величина пластового тиску, тип структурної форми родовища та ін. Практика буріння показує, що із збільшенням глибини свердловини собівартість 1м буріння безперервно зростає.

Проте на собівартість впливає не лише глибина свердловини, а й ступінь ускладнення буріння при збільшенні глибини, а саме зміна діаметру свердловини та швидкості буріння. Окремі витрати на спорудження свердловин, залежно від особливості їх змін з глибиною, можна об'єднати у наступні групи.

1. Витрати, що залежать одночасно від зміни швидкості буріння та впливу глибини свердловини на питоми норми витрат.
2. Витрати, що залежать одночасно від швидкості буріння та впливу діаметру свердловини на питоми норми витрат.
3. Витрати, що залежать від швидкості буріння.
4. Витрати, що безпосередньо залежать від глибини та діаметру свердловини.
5. Витрати, що залежать від глибини свердловини.
6. Витрати на промислово-геофізичні роботи.

Характер зміни вартості буріння зі збільшенням глибини свердловини визначається геолого-технічними

умовами родовищ, застосуванням глибокого та надглибокого буріння.

За даними [3], собівартість 1м проходки при збільшенні глибини свердловини від 200 м до 4500 м зростає майже у 2 рази, головним чином, за рахунок першої, третьої та четвертої групи витрат. Середній рівень собівартості 1м проходки у такому ж діапазоні глибин зростає практично у 5 разів. Питома вага витрат, пов'язаних з комерційною швидкістю буріння, збільшується з 35% до 68%, що підтверджує необхідність прискорення буріння свердловин на нафту і газ. Розробка механізму зменшення витрат на буріння свердловини ускладнюється тим, що витрати на буріння свердловини зростають із глибиною. Одночасно збільшуються витрати часу, які зростають при переході від рейсової швидкості до технічної, від технічної до комерційної і від комерційної до повної циклової швидкості буріння.

У роботі [45] підкреслено, що організації та здійсненню стадій господарської діяльності при бурінні свердловини відповідає своя внутрішня ієрархічна система техніко-економічних показників швидкостей – від рейсової до циклової. Оскільки вони використовуються для прогнозування витрат на буріння і для цілей управління процесом буріння, то слід мати на увазі, що у реальному часі до завершення повного циклу буріння свердловини безпосередньо можуть бути використані тільки показники механічної та рейсової швидкостей. Це зумовлено тим, що сукупності рейсів передують певні роботи і за цією сукупністю знов ідуть роботи, тривалість яких враховується в розрахунках циклової швидкості. Це стосується і комерційної швидкості.

Тому виникає задача упорядкування факторів, які визначають комерційну та циклову швидкості. Ця задача розглядається у роботі Устенко А.О.[45]. На його думку, використання показників $T_{ц}^{(m)}$, $V_{ц}^{(m)}$ дозволяє зорієнтувати прийняття управлінських рішень на кінцевий результат за двома найважливішими показниками – вартості та витрат часу:

$$V_{ц}^{(m)} = \frac{L^{(m)}}{T_{ц}^{(m)}}, \quad (1.11)$$

- де $V_{ц}^{(m)}$ - циклова швидкість на момент “ m ” оперативного контролю (умовна);
- $T_{ц}^{(m)}$ - тривалість циклу спорудження свердловини на момент “ m ” оперативного контролю;
- L_m - показник проходки на момент „ m ”.

По мірі накопичення різних робіт при спорудженні свердловини відповідно збільшується і її загальна вартість. При орієнтації на кінцевий результат важливу роль відіграють витрати на попередні та наступні роботи, оскільки можна за допомогою механічного буріння економічно та швидко пройти свердловину до нафтогазоносного горизонту і тривалий час чекати проведення випробувальних робіт на приплив нафти або газу, щоденно витрачаючи досягнуту економічну перевагу. Тому неможливо досягнути мінімальних витрат по свердловині без інформації про попередні витрати і без прогнозу витрат на наступні роботи.

Враховуючи це, для прийняття управлінських рішень був запропонований показник циклової швидкості [45]:

$$V_{ц}^{(m)} = \frac{L^{(m)}}{C_{ц}^{(m)}}, \quad m / \text{грн.}, \quad (1.12)$$

- де $V_{ц}^{(m)}$ - кількість метрів проходки свердловини на гривню витрат в момент “ m ” оперативного контролю;
- $L^{(m)}$ – глибина проходки в момент “ m ” оперативного контролю;
- $C_{ц}^{(m)}$ - вартість повного циклу спорудження свердловини на момент “ m ” оперативного контролю (умовно).

Показник $V_{ц}^{(m)}$ характеризує обіговість коштів на проходку свердловини, тобто величину обернену вартості метра проходки. Це дозволило сформулювати такий підхід до визначення критерію оптимальності: з корпоративної точки зору з двох варіантів спорудження свердловини найбільш ефективним є той, за якого досягається максимум $V_{ц}$.

Отже, йде мова про досягнення максимуму метрів проходки на 1 тис.грн. витрат.

Аналіз літературних джерел [8,17] показує, що такий критерій дійсно є важливою умовою підвищення ефективності буріння і зменшення собівартості спорудження свердловини, що впливає на забезпечення приросту видобутку нафти без додаткових капітальних вкладень, зниження собівартості нафти і газу. За даними фахівців США витрати на буріння складають 50-80 % від витрат на розвідувальні роботи та 30-80 % від витрат на розробку родовища. Тобто наступні експлуатаційні витрати залежать від якості початкових робіт, і тому важливим резервом зменшення собівартості спорудження свердловини є збільшення швидкостей буріння. Воно може бути забезпечено шляхом оперативного оцінювання витрат, короткотермінового прогнозування, скорочення організаційних простоїв, зниження аварійності, автоматизації управління.

Важливими джерелами зменшення собівартості буріння свердловини на нафту і газ є скорочення матеріальних витрат на труби, цемент та хімічні реагенти (близько 30% всіх витрат на буріння і кріплення). Матеріальні витрати становлять до 40% собівартості бурових робіт. Але аналіз показує, що в останні роки впровадження нових техніко-технологічних розробок у бурінні йде досить повільно. Тому одним з ефективних підходів до зменшення собівартості буріння свердловин є використання прогресивних організаційних форм та механізмів оцінювання витрат у процесі буріння свердловин [45,46].

Зниження собівартості буріння свердловини веде до збільшення прибутку та рентабельності будівництва, які є показниками, що відображають фінансові результати виробничо-господарської діяльності бурового підприємства. Так, збільшення швидкостей буріння дозволяє виконати необхідні обсяги буріння, використовуючи меншу кількість бурових установок, а це забезпечує зменшення вартості основних виробничих фондів та збільшує рентабельність виробництва (36% виробничих витрат складає амортизація основних засобів).

Велика кількість показників, а також можливі протиріччя між ними унеможливають однозначну оцінку

ефективності процесів у системі “буріння свердловин”. Так, надмірне збільшення осьового навантаження на долото веде до збільшення механічної швидкості буріння, але одночасно збільшується ймовірність аварії. Якщо зменшується тиск бурового розчину до стану рівноваги в системі “свердловина-пласт”, покращуються показники буріння, але одночасно виникає небезпека викидів флюїдів в атмосферу.

Невідповідність або протиріччя можливостей, цілей і потреб всіх підсистем ускладнює вирішення питання про вибір оптимальних режимів та забезпечення оптимального функціонування бурової установки. На даний час відсутня єдина думка щодо техніко-економічних критеріїв, за допомогою яких можна визначити оптимальні умови буріння свердловини. Кожна свердловина, що буриться, розкриває унікальний геологічний розріз продуктивних відкладень, тобто має свою геологічну базу. Саме тому свердловини відрізняються одна від другої. Геологічна база є центральним об'єктом системи, так як визначає весь хід процесу буріння.

Система “буріння свердловини” має складну статичну та динамічну поведінку в часі. Статична складність визначається головним чином складністю структур механічної та гідравлічної підсистем та геологічної бази. Динамічна складність системи обумовлена не тільки наявністю нелінійностей і зв'язків між підсистемами та їх елементами, але й тим, що процес буріння є складним процесом, що розвивається у часовому вимірі.

При сумісному функціонуванні компонентів в динамічній системі виникають нові властивості і стани, які неможливо визначити шляхом аналізу властивостей окремих компонентів. Прикладами таких властивостей і станів є: аномальне зменшення або збільшення пластового тиску, осипання і обвал стінок свердловини, прихоплення бурильного інструменту, карстові порожнини, високі темпи обводнення свердловини та інші. Поява цих і багатьох інших ситуацій викликає необхідність оперативного прийняття технологічних рішень і керуючих впливів на систему для того, щоб запобігти аваріям або ускладненням.

Різні частини системи “буріння свердловини” на

нафту і газ описуються у різних масштабах часу або, як кажуть, мають широкий спектр реакцій. По цьому показнику можна виділити наступні динамічні процеси або рівні реагування: подача бурового розчину в свердловину за допомогою насоса; механічні навантаження в колоні бурильних труб і на долоті; електромеханічні процеси в електроприводах ротора, насосів, лебідки; електричні процеси в елементах електропостачання. Кожна підсистема і система буріння свердловини в цілому описується великою кількістю змінних і має характер причинно-наслідкових та часових зв'язків між цими змінними.

Слід мати на увазі, що існуючі зв'язки, закономірності і співвідношення не завжди можуть бути описані мовою чітких математичних формул і моделей. У багатьох випадках вони встановлюються на якісному рівні або у вигляді графіків чи таблиць, які узагальнюють велику кількість емпіричних даних.

Під час буріння свердловини на нафту і газ існує постійна тенденція до погіршення якості процесу. Це зумовлюється динамічністю внутрішніх і зовнішніх збурюючих факторів - збільшенням глибини свердловини, зміною фізико-механічних властивостей гірських порід, зношенням долота, збільшенням температури на вибої свердловини, аваріями та ускладненнями, що з'являються у процесі буріння. При постійних параметрах режиму буріння в ізотропних породах механічна швидкість проходки зменшується у часі за рахунок зношення долота.

При незмінному режимі роботи насосних установок у процесі буріння збільшується глибина свердловини, тиск на вибої, вміст води у буровому розчині, рівень промивальної рідини та інші параметри. Вплив вказаних вище збурень призводить до зміни параметрів системи, внаслідок чого знижується якість функціонування системи, її надійність зменшується міжремонтний період обладнання бурової установки. Тобто властивості та умови роботи системи "буріння свердловини" на нафту і газ апріорно недостатньо відомі і суттєво непостійні, а сама система лише наближено може бути названа квазістаціонарною.

Наслідком нестационарності процесу буріння свердловини є невідтворюваність експериментів, яка проявляється у різній реакції об'єкта на той самий керуючий вплив у різні моменти часу. При бурінні з постійними параметрами режиму у різні моменти часу можна отримати зовсім різні показники процесу. Тому використання ретроспективних статистичних даних, які отримані на значному інтервалі часу не дає бажаного результату.

Крім цього, дані, на підставі яких приймається рішення про управління системою, часто неточні. Як наслідок, інформації про загальні закономірності процесу буріння свердловини на нафту і газ недостатньо для моделювання та управління конкретною буровою установкою. До того ж при формалізації системи “буріння свердловини”, завжди залишається неформалізований залишок, внаслідок чого традиційне математичне моделювання процесу буріння не може бути вичерпним. Необхідна розробка моделей, розрахованих на використання різних даних, в тому числі і тих, що погано формалізуються, на використання знань спеціалістів, що базуються на визначенні великої кількості факторів, їх структури та зв'язків. Поява та розвиток математичного апарату нечітких множин дає ефективний засіб для створення лінгвістичних моделей, де якісна інформація подається у вигляді словесного опису процесу.

З точки зору теорії управління, складна система “буріння свердловини” повинна розглядатися як сукупність взаємопов'язаних підсистем, що об'єднані спільною метою функціонування. Для побудови математичної моделі доцільно використання процедури декомпозиції системи, яка дає змогу отримати сукупність порівняно простих, хоча і взаємозалежних задач, що пов'язуються у підсистемах окремо.

Важливою обставиною є те, що у задачах управління бурінням свердловини на нафту і газ властивості всієї системи суттєво відрізняються від властивостей її елементів. Навіть якщо матимемо математичні моделі всіх елементів, що входять до системи, практично неможливо отримати модель всієї системи загалом. Збільшення кількості

елементів, з яких створена система, на певному етапі веде до нових якісних змін властивостей об'єкта управління.

Ще однією важливою властивістю буріння свердловини, яка відрізняє цей об'єкт від традиційних об'єктів управління, є існування декількох цільових функцій:

- забезпечення виконання процесу при мінімумі вартості метра проходки;
- визначення моменту підйому долота для заміни за допомогою різних критеріїв і типу долота для наступного рейсу;
- забезпечення оперативного визначення в процесі буріння уточнених значень осьового навантаження і швидкості обертання долота, а також значень параметрів режиму спуско-підймальних операцій.

Підсистемою промивки свердловини вирішуються питання покращення очистки вибою свердловини і показників роботи долота, зменшення аварій і ускладнень, пов'язаних зі станом стовбура свердловини.

Очевидно, що деяку цільову функцію має і система будівництва свердловини. Це – мінімальна вартість, або мінімальний час будівництва свердловини [9]. Але локальні цільові функції буріння свердловини (максимум рейсової швидкості буріння, мінімум вартості буріння одного метра свердловини, максимум проходки на долото, мінімум часу на спуско-підймальні операції тощо) не співпадають з глобальною цільовою функцією будівництва свердловини.

Тому при прийнятті оптимального рішення з оперативного управління витратами в процесі буріння свердловини кожна підсистема прагне максимізувати (або мінімізувати) свою цільову функцію на множині припустимих рішень, які визначаються реально існуючими обмеженнями. Таким чином, для знаходження значень вихідних координат підсистема повинна розв'язати деяку екстремальну задачу, конкретні дані якої можуть змінюватися залежно від значень вхідних параметрів.

Отже, особливостями, які треба враховувати при оперативному оцінюванні витрат у процесі буріння свердловини, є: складність зв'язків між елементами системи; рі-

зноманітний характер цих зв'язків - інформаційні, енергетичні, матеріальні; велика розмірність; участь людини у процесі буріння свердловини; наявність підсистем, кожна з яких має свою локальну цільову функцію; належність складної системи "буріння свердловини" до ще більш складної системи "будівництво свердловини" з певною ієрархією. Оцінювання витрат у таких системах здійснюється різними методами, тому слід розглянути особливості побудови таких структур.

1.4 Особливості інтегрованого оцінювання витрат у процесі буріння свердловин

Вивчення існуючих та визначення найкращої структури системи оцінювання витрат відносять до найбільш важливих і складних задач управління виробничими комплексами.

Складна система має множину окремих взаємозалежних елементів, і управління кожним елементом повинно здійснюватись з врахуванням їх взаємного впливу. Тому, на перший погляд, здається привабливою структура централізованого оцінювання витрат. При такій структурі інформація щодо витрат під час процесу буріння передається до центрального органу, де вона переробляється та аналізується фахівцями, які потім направляють вказівки щодо оптимізації процесу на бурову.

Така структура оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ має суттєві недоліки. Найбільш суттєвим з них є те, що прийняття оптимального рішення пов'язано з великою кількістю багатоваріантних розрахунків для різних ситуацій, що залежать від геолого-технічних умов та навколишнього середовища. Недоліки централізованої структури оцінювання витрат особливо відчутні тому, що в її функціонуванні бере участь людина.

При невеликій кількості змінних людина може конкурувати з ЕОМ в розв'язанні задач управління, але у задачах великої розмірності, однією з яких є оцінювання витрат в процесі буріння, людина потребує від ЕОМ підтримки у прийнятті рішень.

У [13] була запропонована інформаційно-динамічна модель, в якій оператор сприймає інформацію у вигляді сигналу, що відображається на індикаторі (рис 1.12).

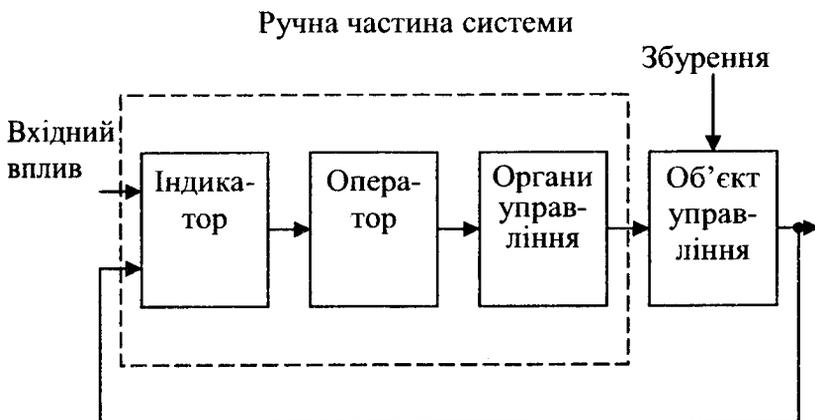


Рис.1.12 Інформаційно-динамічна модель:
індикатор-оператор-органи управління

Дослідження [4] показали, що час реакції оператора та час визначення сигналу є функціями невизначеності сигналу на виході інформаційно-вимірювальної системи. Суцільна невизначеність для оператора містить дві взаємозалежні складові:

- часову, що пов'язана з ймовірністю появи сигналу про відхилення параметра;
- альтернативну, що зв'язана з кількістю параметрів, які мають відхилення, з яких треба зробити вибір.

Рівень складності вибору більш суттєво впливає на поведінку оператора у ситуації вибору, ніж рівень неочікуваності сигналу. Тому інформаційна модель повинна будуватися з врахуванням зменшення часу.

Отже, у системі оперативного оцінювання витрат у бурінні необхідно враховувати самооптимізацію та самоприспособлення людини-оператора. Виходячи із здібності оператора до адаптації у [5] висловлена думка, що людина-оператор прагне мінімізувати середньоквадратичну похибку.

Крім розглянутих, централізована структура має ще ряд недоліків:

1. Найбільш важливим недоліком централізованої структури є велика трудомісткість обробки всієї потрібної інформації в єдиному центральному органі. Тут треба не тільки опрацювати інформацію, яка поступає з об'єктів, але і прийняти оптимальне (у сенсі деякого критерію ефективності) рішення, що пов'язане з великою кількістю багатоваріантних розрахунків для різних ситуацій, що відповідають стану об'єктів і оточуючого середовища. Кількість необхідних розрахунків дуже велика.
2. Централізована система відрізняється незмінністю структури. Еволюційні зміни, що трапляються в окремих її елементах, можуть формуватися лише у центральному органі, де їх важко відокремити від множини випадкових перешкод і флуктуацій. При цьому може виникнути невідповідність між існуючою структурою системи і еволюційними змінами в її окремих ланках.
3. Централізована структура відрізняється також малою надійністю та завадостійкістю.
4. Центральний орган управління не в змозі утримувати у полі зору складну систему в цілому, тому не вдається узгодити напрямки зусиль всіх її елементів. Втрати від неузгодженості в подібних системах дуже великі.

Від централізованої структури вигідно відрізняється ієрархічна структура [4, 6], яка не має розглянутих вище недоліків і широко використовується у системах управління "Мікро Доріс" та "Епідоріс" компанії "Шелл" з 1986 року.

Вона являє собою систему, що базується на персональному комп'ютері, і розроблена для компаній, що експлуатують до трьох бурових установок. Управління здійснюється безпосередньо на буровій за допомогою комп'ютера. Між буровою та офісом існує гнучкий обмін інформацією, який допомагає персоналу в управлінні.

Мета цієї системи - досягти оптимізацію витрат на буріння свердловин, при якій здійснюється автоматичний контроль та управління процесом буріння.

Головною особливістю ієрархічної структури є послідовне розбиття системи на підсистеми, між якими налагоджуються стосунки підпорядкованості. У такій системі елементи першого рівня об'єднані між собою, і керування ними здійснює орган другого рівня.

Деякі пов'язаних між собою підсистем другого рівня управління підпорядковуються підрозділу третього рівня і т.д. Об'єднання окремих елементів підсистеми здійснюється на базі суттєвих взаємних виробничих зв'язків, а розбиття - там, де зв'язки є слабкими.

В ієрархічній структурі на нижньому рівні розв'язують найбільш прості локальні задачі та обробляють первинну інформацію.

Керуючий орган другого рівня розв'язує задачі узгодження роботи систем першого рівня і передає узагальнену інформацію до системи наступного рівня і т.п. Вищий орган веде обробку тільки найбільш важливої узагальненої інформації; рішення, які він генерує, стосуються лише головних показників. Вони деталізуються на нижніх рівнях системи. Ієрархічна структура більш надійна, оскільки усі рішення, що приймаються, можуть бути скореговані залежно від ситуацій, що складаються у підсистемі.

Ієрархічні структури властиві всім складним системам, вони є результатом природного розвитку систем управління [6].

Таким чином, перспективним та актуальним є створення ієрархічної системи, яка об'єднує функції управління технологічним процесом буріння та функції обробки даних, що відносяться до сфери обліку, планування, матеріально-технічного забезпечення та оперативного оцінювання витрат.

Щоб забезпечити таку інтегровану інтерпретацію даних та видавати відповідні рішення за наявності великої кількості контрольованих параметрів стає необхідним використання штучного інтелекту.

Головними задачами у таких системах оперативного оцінювання витрат будуть ідентифікація, використання знань експертів з буріння та прийняття рішень.

У ієрархічних структурах оцінювання витрат рішення приймаються послідовно, на кожному рівні ієрархії. При цьому кожна підсистема аналізує власну цільову функцію з урахуванням обмежень, що поступають від керуючого органа вищого ступеня. Природно, що сукупність рішень в кожній з підсистем не буде оптимальною для всієї системи загалом, оскільки цільові функції окремих підсистем не співпадають з цільовою функцією центрального керуючого органа. Але ця сукупність рішень є припустимою для систем, хоча вони не є оптимальними, оскільки на час і кошти накладені жорсткі обмеження. Схема прийняття таких рішень у підсистемах часто базується на використанні інтуїтивних рішень. У випадках, коли важко розв'язати задачу до кінця, на вищому рівні в ієрархічній структурі виробляють лише деякий узагальнений вектор рішень для всіх ланок системи, який деталізується на наступних ступенях ієрархії.

При певному підході до прийняття рішення керуючі органи підсистем мають свободу дій, яку вони використовують для визначення того варіанта рішення, який оптимізує локальну цільову функцію. У цьому відображаються властивості "активності" підсистем, що обумовлені участю людини в їх роботі.

Як відмічалось раніше, активні підсистеми мають свої цільові функції, які у більшості випадків відрізняються від цільової функції центрального органу. У багатьох випадках ці функції невідомі центральному органу і змінюються у часі залежно від обставин функціонування підсистем.

Тому утримувати у полі зору всю складну систему надзвичайно важко, так як для такої системи характерні відносно слабкі зв'язки між великою кількістю її елементів. До того ж кількість станів системи як цілого, що дорівнює кількості можливих сполучень між станами всіх її елементів, надзвичайно велика.

Для системи, що має m незалежних елементів, кожен з яких може мати n станів, загальна кількість станів системи, тобто різноманітність R системи, визначається комбінаторною залежністю:

$$R = n^m. \quad (1.13)$$

Для підприємств нафтової промисловості звичайно $n > 10$ та $m > 1000$, тобто $R > 10^{1000}$.

Кількість можливих станів R настільки велика, що утримати їх в пам'яті однією людиною неможливо. Графік залежності різноманітності R системи від кількості її елементів m приведений на рис. 1.13.

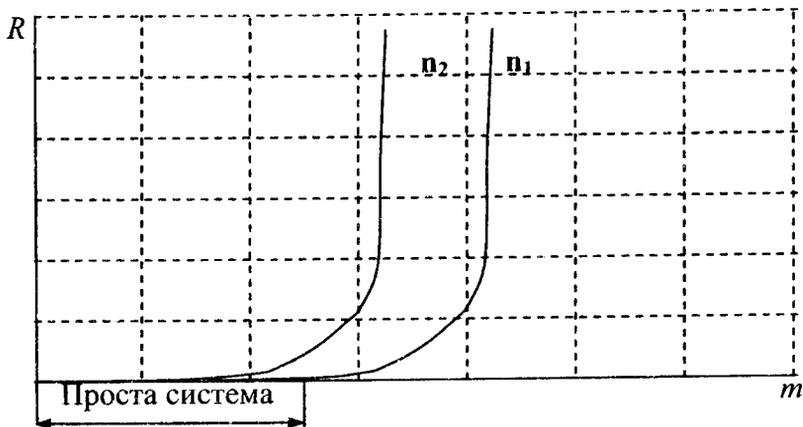


Рис.1.13 Графік залежності різноманітності R системи від кількості її елементів m ($n_2 > n_1$)

З графіка видно, що збільшення кількості елементів m у 1,5-2 рази веде до збільшення R у декілька сотень разів. Особливо чутливою до таких змін є система оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ, оскільки тут велика роль людини-оператора, якій властива велика кількість n можливих станів, можливих поведінок.

Вплив людини на складність системи не обмежується збільшенням n та R , тому що поведінка людини визначається не тільки її особистими властивостями, але й середовищем, в якому вона знаходиться, виробничими стосунками.

На етапі загальної оцінки впливу складності системи на процеси управління правомірно користуватися описовою якісно формалізованою моделлю.

У [33] підкреслено також, що складні системи, до яких відноситься і процес буріння свердловини на нафту і

газ, завжди відкриті, тобто на них активно впливає навколишнє середовище, яке змінюється і дезорганізує поведінку системи.

Збитки від неузгодженості у такій системі дуже великі, тому що внесок кожного елемента x_i , якщо всі елементи однакові, у загальні зусилля системи у цьому випадку дорівнює:

$$y \approx x_i m^{-\frac{1}{2}} \quad (1.14)$$

Тобто чим більше елементів m , тим більше взаємне врівноваження і менший внесок кожного з них у результуючу, яка погано протистоїть впливу навколишнього середовища і носить випадковий характер. У системі може статися хаос, який можна упорядкувати лише користуючись новими методами управління.

Навіть використання нових засобів обробки інформації, разом із старими методами управління не розв'язують задачу. Тільки поєднання новітніх методів управління складними системами та новітніх ЕОМ може привести до успіху.

Як показує світовий досвід, використання комп'ютерних методів управління у десятки і більше разів ефективніше, ніж традиційна автоматизація, яка є часткою широкопоставленої задачі техніко-економічного управління бурінням нафтових та газових свердловин.

Побудова вдосконаленої системи оцінювання витрат на буріння свердловин вимагає глибокого вивчення об'єкта методами системного аналізу, вивчення головних зв'язків у системі з урахуванням динаміки їх розвитку.

Висока ефективність такої системи оцінювання досягається за рахунок її ідентифікації, вивчення та чіткого формулювання мети, що стоїть перед системою, використання управління, як діяльності, що сприяє досягненню мети.

Формулювання мети системи у чіткій формі, зрозумілій для ЕОМ, являє собою надзвичайно складну багатетапну задачу.

Всередині системи здійснюється декомпозиція мети, будується так зване "дерево цілей", для того, щоб кожен елемент системи отримав мету, узгоджену з глобаль-

ною метою всієї системи. Цю задачу вирішують люди, тому вона не застрахована від суб'єктивних рішень, небезпека яких зростає по мірі наближення до "гілок дерева цілей". Після того як сформульовані цілі, організують управління системою, тобто діяльність, спрямовану на досягнення мети.

При ієрархічній системі управління всю сукупність задач, що необхідно розв'язати, розділяють на два великих класи - локальний та глобальний.

Локальні задачі розв'язуються у підсистемах з врахуванням своїх цільових функцій та відомих обмежень без обміну з іншими підсистемами та з центральним органом.

Для i -тої підсистеми локальну задачу записують так [6]: знайти вектор $x_i^* \in \bar{D}_i$ такий, що відповідна цільова функція $f_i(x_i)$ досягає на ньому екстремуму, тобто

$$\max f_i(x_i) = f_i(x_i^*), \quad x_i \in D_i, \quad \bar{D}_i = D_i \cap U_i, \quad (1.15)$$

де U_i - множина допустимих розв'язків, заданих центральним органом;

D_i - множина допустимих розв'язків, яка сформована в i -тій підсистемі, $i=1, \dots, n$;

\bar{D}_i - множина розв'язків з урахуванням додаткових обмежень, що отримані з центрального органу;

x_i^* - розв'язки для i -тих підсистем, що оптимальні з точки зору самої підсистеми;

x_i - розв'язки для i -тої підсистеми, що оптимальні з точки зору всієї системи загалом.

Множина $U = \bigcup_i U_i$, за допомогою якої центральний орган впливає на підсистеми, формується на основі керуючих впливів, що виробляються у центральному органі.

Такими впливами є різні економічні та фізичні показники: вартість буріння свердловини, глибина свердло-

вини, вартість метра проходки свердловини, ціна долота, труб, бурового розчину, які надаються підсистемі.

При заданих величинах керуючих впливів, тобто заданої множини $U = \bigcup_i U_i$, система управління кожної з підсистем розв'язує задачу максимізації своєї функції мети, визначає значення вектора x_i^* при $i=1, \dots, n$, які потім повідомляються центральному органу. Таким чином, керуючим впливом на підсистеми є множина U_i при $i=1, \dots, n$, а вихідними змінними - сукупність векторів $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$, що отримують після розв'язків локальних задач оптимізації.

Аналіз літературних джерел показує, що у складній системі, якою є буріння свердловини на нафту і газ, питання формулювання мети для кожної з підсистем ще до кінця не вирішено. Прикладом є підсистема поглиблення свердловини, де існують різні цільові функції для управління самим процесом (мінімальна вартість метра проходки, максимум рейсової швидкості буріння, максимум проходки на долото) і для контролю відробки доліт (мінімальна вартість метра проходки, максимум рейсової швидкості буріння, збільшення моменту на долоті та багато інших).

Система управління бурінням свердловини на нафту і газ повинна розв'язувати глобальну задачу, у результаті чого повинен бути знайдений керуючий вплив (множина $U = \bigcup_i U_i$) за відповідним вектором $x^* = \{ x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \}$ що характеризує рішення, прийняті підсистемами. При цьому вимагається, щоб виконувалися всі обмеження і глобальна цільова функція $F(x^*)$ - (прибуток або вартість буріння) досягла максимуму або мінімуму.

Цю задачу можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned} & \max_U F(x^*) , \quad x^* \in D, \\ & x^* = \{ x^* : x_i^* = \text{Arg max } f_i(x_i), \quad x_i^* \in \bar{D}_i, i=1, \dots, n \}. \end{aligned} \quad (1.16)$$

Тут множина D визначається глобальними обмеженнями, що характеризують взаємозв'язки між окремими підсистемами по вхідних та вихідних потоках, а також ресурсах, що використовуються. Прикладом глобальних задач управління є: визначення оптимального плану буріння свердловини, розподіл обмежених ресурсів між підсистемами, координація підсистем та ін.

Ці задачі у бурінні свердловин на нафту і газ до кінця не вирішені. Так, на даний час існують дві глобальні цільові функції - кошторисна вартість бурових робіт та мінімум часу на буріння свердловини.

Розв'язання глобальної задачі може бути зроблено шляхом реалізації деякої ітеративної процедури багатократного взаємного обміну інформацією між центральним органом та підсистемами. Подібний підхід обумовлений тим, що центральний орган не може довільно вибирати вектор X , оскільки в цьому випадку не будуть враховані інтереси підсистем і вони, у свою чергу, не будуть зацікавлені у виконанні прийнятого рішення. Тому в якості керуючого впливу верхній рівень ієрархії повинен використовувати деяку множину обмежень, формул, яких він потребує для виконання глобальних обмежень та максимізації цільової функції.

1.5 Поточні витрати як критерій ефективності управління процесом буріння

Оцінювання витрат на процес буріння свердловин на нафту і газ передбачає таку організацію бурових робіт і такий вибір режимних параметрів, коли деякий критерій, що характеризує техніко-економічну ефективність процесу буріння, набуває мінімального або максимального значення при обмеженнях, викликаних технічними, технологічними або іншими причинами.

Аналіз літературних джерел [10] показує, що для оцінювання витрат на буріння нафтових та газових свердловин використовується множина критеріїв, класифікація яких наведена на рис. 1.14.

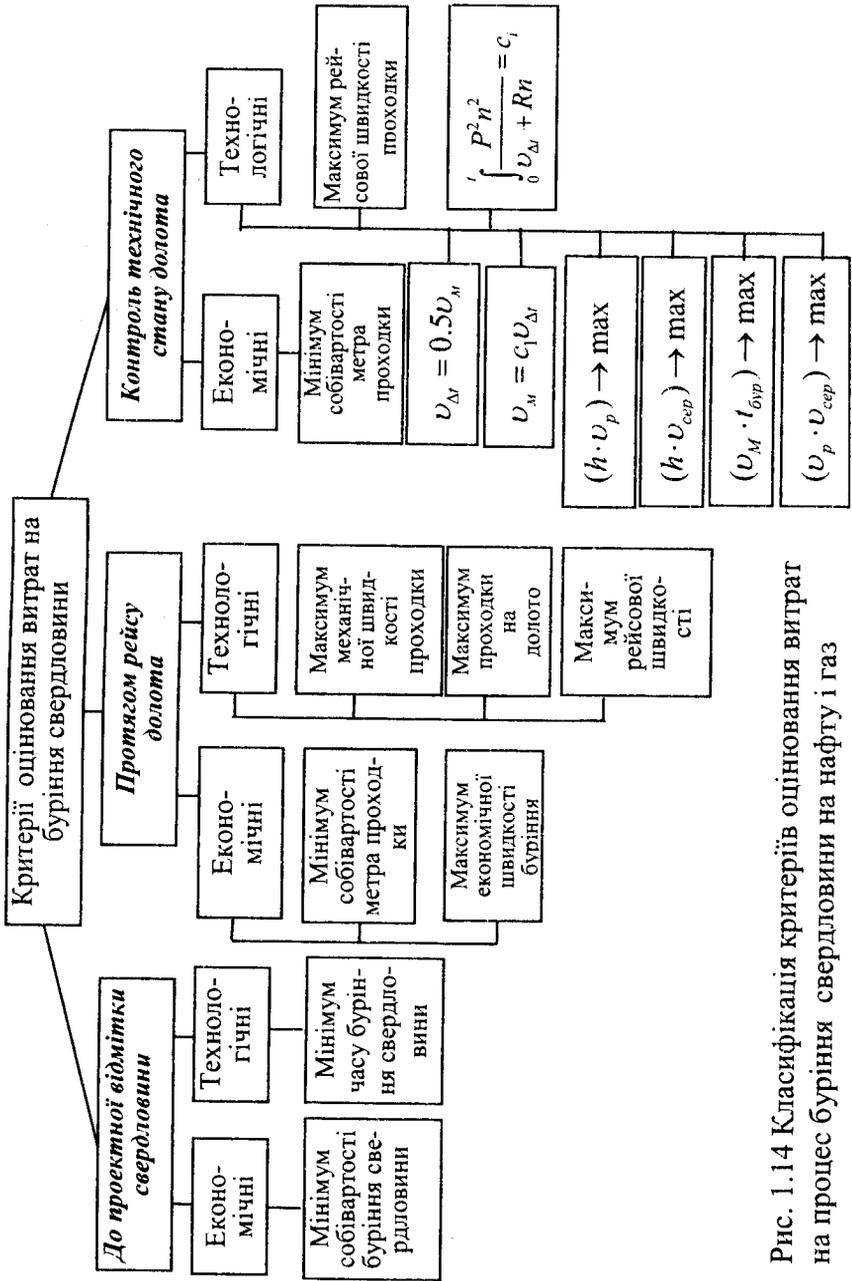


Рис. 1.14 Класифікація критеріїв оцінювання витрат на процес буріння свердловини на нафту і газ

На рис. 1.14.: h - проходка; v_p - рейсова швидкість буріння; $v_{сер}$ - середня швидкість буріння; v_M - механічна швидкість буріння; $t_{бур}$ - час буріння; c_1 - емпіричний коефіцієнт, що характеризує граничний ступінь падіння механічної швидкості; c_i - коефіцієнт, що характеризує раціональний ступінь зносу оснащення долота; R - коефіцієнт, що характеризує вплив швидкості обертання долота на інтенсивність зносу оснащення долота, P - осьове навантаження на долото, n – швидкість обертання долота.

Оцінювання витрат на буріння свердловини здійснюється за допомогою економічних та технологічних критеріїв і кількість їх досить велика. Тому слід вирішувати проблему оцінювання витрат на буріння свердловини з використанням декількох критеріїв.

Отже, у центрі уваги опинилася проблема формалізації процесів прийняття рішень в умовах багатокритеріальності [10,11]. У загальному випадку розв'язок цієї проблеми можливий при послідовному вирішенні наступних задач:

- формулювання мети;
- визначення множини допустимих розв'язків X для її досягнення;
- визначення правила, за допомогою якого розв'язки $x \in X$ можна порівнювати за якістю (задача оцінювання);
- ранжування або визначення оптимального рішення $x_{opt} \in X$.

Розв'язок перших двох задач, як правило, не викликає ускладнень, а кінцевим завданням останніх двох етапів є визначення оптимального рішення $x_{opt} \in X$.

Існує великий арсенал аналітичних та чисельних методів пошуку екстремуму скалярної функції [9,11]. Визначення екстремального розв'язку за одним показником якості, як правило, не викликає труднощів. Проблема виникає тоді, коли рішення описується деяким набором різнорідних за сенсом, розмірністю, інтервалом можливих значень, які в подальшому будемо називати частинними критеріями:

$$Q_i(x), i = \overline{1, n}. \quad (1.17)$$

У цьому випадку визначення кращого розв'язку не викликає труднощів тільки на множині узгоджених розв'язків. Тобто коли на множині X існує розв'язок, у якого значення всіх частинних критеріїв $q_i(x)$ краще або не гірше, ніж у інших розв'язків. При суперечності критеріїв $q_i(x)$, що має місце при бурінні свердловин, коли треба вибрати або мінімум вартості свердловини, або мінімальний час її буріння, виникає задача вибору компромісного рішення x_{opt} на базі аналізу частинних критеріїв:

$$Q = \{ q_i(x) \}, i = \overline{1, n}. \quad (1.18)$$

Проведений ретроспективний аналіз робіт [38÷48] цього напрямку дозволяє виділити наступні етапи.

1. Зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної, тобто перенос стереотипу традиційного однокритеріального мислення у нові умови і намагання пристосувати ці умови до існуючого математичного апарату з використанням методу виділення найважливішого критерію при переведенні всіх інших до обмежень; до методу послідовного однокритеріального аналізу; до методів послідовного зменшення розмірності компенсацією одних критеріїв іншими тощо.

2. Розвиток так званого неконструктивного підходу, суть якого полягає в тому, що з множини X відокремлюють область компромісних оптимальних по Парето рішень X^n . Ця множина пред'являється особі, що приймає рішення. Вона на основі евристичних уявлень вибирає оптимальне рішення $x_{opt} \in X^n$. Цей етап пов'язаний з розвитком багатокритеріальних методів виділення X^n , але не стосується концептуальної процедури вибору x_{opt} .

3. Розвиток конструктивного підходу, що пов'язаний з орієнтацією на формалізацію процедури вибору кращого рішення. Цей підхід передбачає формування скалярної оцінки якості розв'язку такого вигляду:

$$Q(x) = F[\lambda_i, q_i(x)], \quad (1.19)$$

де λ_i - коефіцієнти ізоморфізму частинних критеріїв $q_i(x)$.

Розв'язок багатofакторного оцінювання пов'язаний з ідентифікацією виду оператора F (це задача структурної ідентифікації) та конкретних значень коефіцієнтів λ_i (це задача параметричної ідентифікації).

Зараз прийнято вважати, що теоретичним базисом розв'язку третього етапу є аксіоматична адитивна теорія корисності, запропонована Д.Нейманом та О. Моргенштерном [44], згідно якої функція корисності визначається:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \xi_i(x), \quad (1.20)$$

де $P(x)$ – корисність альтернативи x ;

n – кількість частинних критеріїв;

λ_i - коефіцієнт, що характеризує ступень важливості

критерію K_i ; $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$; $\lambda_i \geq 0$;

$\xi_i(x) = \xi_i(q_i(x))$ - функція корисності критерію K_i .

Кузьмін І.В. [51] запропонував оцінювати функціональні можливості системи як суму ентропій локальних характеристик, що оцінювала ступень відхилення від варіанта з ідеальними функціональними властивостями. Це було покладено в основу теорії багатofакторного оцінювання: безрозмірність, обмежений та однаковий інтервал вимірювання; інваріантність до виду екстремуму; нелінійність локальних функцій корисності окремих характеристик.

У 1986-1996 роках була сформульована загальна постановка задачі багатofакторного оцінювання, розвинута нелінійна теорія корисності [14], синтезований узагальнений універсальний адаптивний критерій багатofакторного оцінювання, який дозволяє реалізувати всі відомі схеми компромісу (адаптивну, мінімаксу, послідовного аналізу) і їх композиції в залежності від ступеня інформованості особи, що приймає рішення про переваги частинних критеріїв [15, 16]. Сформульована і розвивається теорія компараторної ідентифікації чисельних параметрів багатofакторного оцінювання.

Вираз (1.20) орієнтований на рішення економічних задач і являє собою оцінку чистої ціни товару. В цьому випадку λ_i є коефіцієнтами “ціни” K_i властивості для споживача у грошовому виразі, а самі K_i характеризують тільки корисні для споживача властивості.

В подальшому завдяки дослідженням Кузьміна І.В. та Хітча Ч. функція (1.20) була перетворена в універсальний інструмент багатofакторного оцінювання. Вони вперше довели, що множина характеристик $K_i(x)$ у загальному випадку неоднорідна і її необхідно розділити на дві підмножини:

групу функціональних характеристик, що оцінюють корисність системи для споживача;

групу показників, що описують витрати у широкому розумінні, тобто “платню” за корисні властивості та їх рівень.

В подальшому Кузьмін І.В. створив концепцію функціонально-вартісної оцінки, а Хітч Ч. – принцип “ефект-витрати”. Розглянуте вище дозволяє зробити висновок, що критерії оцінювання витрат на процес буріння свердловини на нафту і газ потребують вибору компромісних рішень на базі аналізу частинних критеріїв (1.19). Це правомірно як для оцінювання витрат на буріння свердловини до проектної відмітки, так і для оперативного оцінювання їх протягом рейсу долота.

На сучасному етапі найбільш ефективним засобом підвищення продуктивності праці у бурінні є комп’ютеризація та вдосконалення моделей управління бурінням свердловин .

Система оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ повинна бути ефективною, гнучкою, здатною забезпечувати найкращі шляхи оптимізації ведення буріння.

Ці особливості значно ускладнюють та сповільнюють процеси створення систем оцінювання витрат на буріння свердловин, оскільки доводиться розв’язувати одночасно багато проблем, пов’язаних з формалізацією та моделюванням технологічних об’єктів та цілей управління.

Системи оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ почали створюватися порівняно нещодавно і за кордоном. Початок застосуванню комп'ютерів у бурінні в США поклала компанія "Амоко продакшн рисерч". У 1967 році вона приступила до розробки методу оптимізації буріння свердловин на основі попереднього планування технологічних операцій за допомогою комп'ютерів. Буріння перших 115 свердловин дало високі результати – вартість буріння знизилась в середньому на 25%. Кількість використаних програм - 16.

З середини 70-х років програми удосконалення технології з метою підвищення ефективності буріння, широко розповсюдилися на промислах Єгипту, Пакистану, країн Близького сходу, Північного моря, Південної Америки.

Вже у 80-х роках ХХ-го сторіччя у бурінні свердловин почали з'являтися експертні системи [31], тобто системи-порадники, або консультанти, які виробляють знання. У цих системах комп'ютери розв'язують задачі узагальнення досвіду експертів з певних галузей знань. Застосування таких систем для буріння свердловин є логічним, оскільки важко зробити математичну модель всього бурового процесу.

Перші експертні системи виконували планування бурових операцій, ліквідацію ускладнень, вибір обладнання гирла свердловини, аналіз бурових розчинів, інтерпретацію каротажу. Однією з них була експертна система АР-КО по цементуванню. Вона допомагала складати рецепти цементних розчинів і вибрати буферні рідини. Для цього використовували дві бази знань, які включали 2000 правил.

Відома експертна система для буріння "Елф - Акватайн" використовується для визначення прихоплень буриньних колон, їх насадок і зatoryжок. Її база знань містить біля 300 евристичних правил і описи біля 50 бурових параметрів.

Фірма "Бароїд" розробила першу систему штучного інтелекту в бурінні МАДМАН. Вона містить складну систему імітаційного моделювання, яка може визначати якість обробки бурових розчинів у процесі їх виготовлення, використовує інженерні знання і схему розпізнавання, веде пошук інформації.

На сучасному етапі мають розвиток два напрямки використання інформації для оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ. Перший напрямок передбачає реєстрацію інформації в реальному часі на буровій з наступною передачею у центральний офіс управління. Тут вона аналізується фахівцями, а потім останні передають на бурову вказівки з оптимізації процесів. Використовується обмежена кількість параметрів, але накопичується велика кількість даних. Другий напрямок передбачає управління процесом буріння безпосередньо на буровій. Але при цьому здійснюється гнучкий обмін інформацією і аналіз даних комп'ютерними системами на буровій і в офісі. Система такого типу "Мікро Доріс" була розроблена компанією "Шелл" і експлуатується з 1986 року у компаніях, що мають до трьох бурових установок. Кожна з бурових має персональний комп'ютер, що передає дані в офіс по телекомунікаційних лініях.

Для більшої кількості бурових установок компанія "Шелл" створила систему "Епідоріс". Персонал бурової має доступ до всіх даних її персонального комп'ютера і може запросити дані з офісу. Ще у 1988 році дана компанія встановила на своїх підприємствах більше 50 експертних систем. Французька фірма Schlumberger використовує експертну систему для підвищення точності буріння шляхом аналізу даних, що поступають з нафтових і газових свердловин [18]. Кожна система розв'язує свою задачу управління.

Оскільки загальноприйнятою цільовою функцією є мінімум кошторисної вартості бурових робіт [25], то основним критерієм ефективності буріння свердловини до проектної глибини є загальна собівартість буріння B_c , яка представляє адитивну функцію собівартості B_i кожного

$$\text{довбання: } B_c = \sum_{i=1}^n B_i$$

Мінімізація собівартості буріння в кожному рейсі долота не призводить до мінімізації загальної собівартості буріння свердловини внаслідок значного впливу часу, що витрачається на спуско-підіймальні та допоміжні операції.

Отже, поряд із задачею оцінювання витрат на буріння до проектної глибини, існує задача оптимізації оцінювання витрат на процес буріння протягом кожного рейсу долота, вирішення якої повинно призвести до того, щоб загальні витрати на буріння свердловини були мінімальними. Крім цього на термін буріння свердловини впливають можливі аварійні ситуації та якість промивки свердловини під час буріння. Тому важливим є вирішення задач прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень та керування процесом промивки свердловини.

Витрати на буріння свердловини визначаються витратами на функціонування декількох підсистем, що мають різні задачі, пов'язані з управлінням процесом буріння свердловини. Декомпозиція задачі управління процесом буріння свердловини на нафту і газ наведена на рис. 1.15.

Управління процесом буріння свердловини у кожному рейсі можна розбити на два етапи. На першому етапі треба розв'язати задачу вибору оптимальних керуючих впливів, на другому – визначити ефективний час буріння. Управління процесом буріння свердловини здійснюють при одному керуючому впливі: осьовому навантаженні на долото P . Решта входних впливів залишаються практично некерованими. Разом з тим необхідно врахувати, що вибір оптимального осьового навантаження на долото повинен проводитись з мінімальними витратами робочого часу через те, що вартість однієї години роботи бурової установки досить висока [9].

Для бурових установок, де можливе регулювання швидкості обертання долота, задача управління повинна бути вирішена при $P=var$, $n=var$, $Q=const$. Тут n і Q відповідно швидкість обертання долота та витрата бурового розчину. Це стосується буріння свердловин роторним способом та електробурами. У цих випадках припускалося, що кількість бурового розчину забезпечує досить добру очистку вибою свердловини, яка забезпечується шляхом розв'язку оптимізаційної задачі промивки свердловини. У зв'язку з тим, що від режиму промивки в значній мірі залежить ефективність руйнування породи, то стає необхідним враховувати витрати бурового розчину, як керуючого

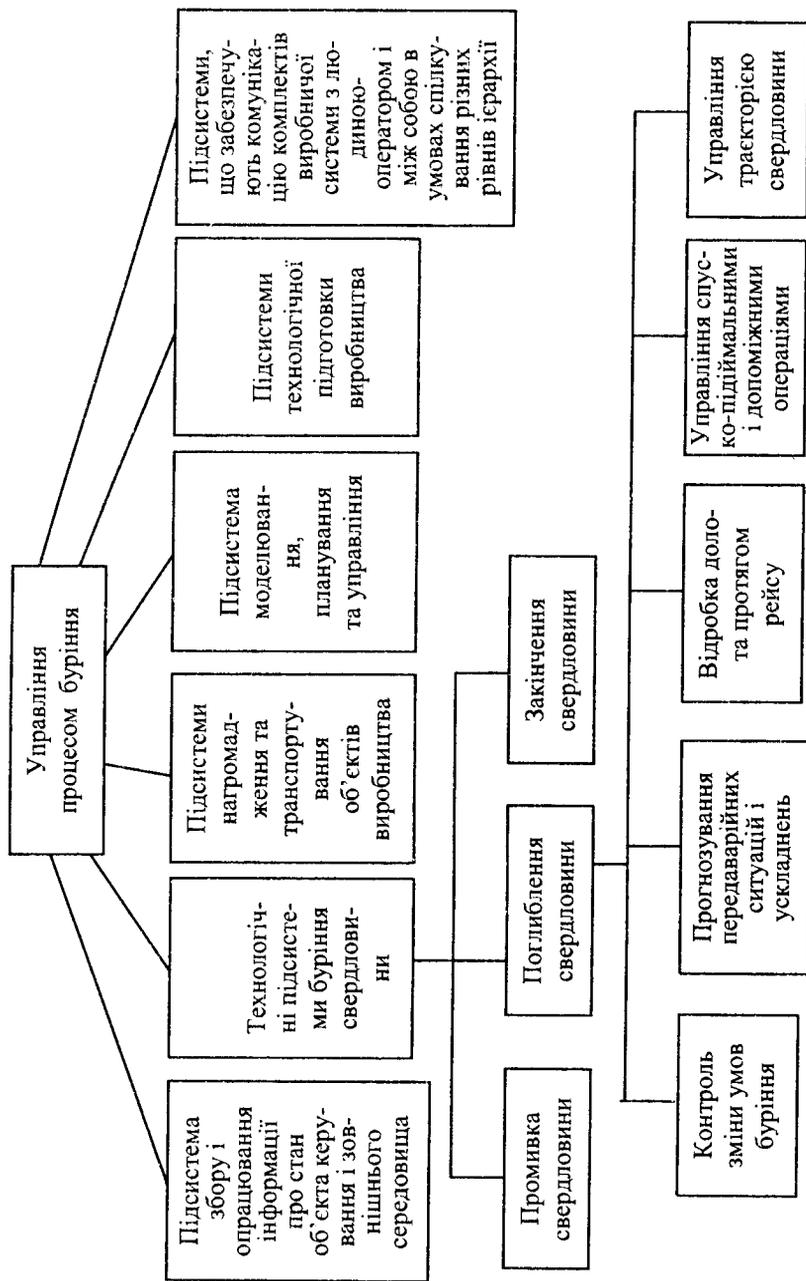


Рис. 1.15 Декомпозиція залячі управління процесом буріння свердловини на нафту і газ

впливу. Тобто виникає задача керування процесом буріння при $P=var$, $n=var$, $Q=var$. Але для цього бажано створення бурових насосів з регульованою продуктивністю.

Після вибору оптимальних керуючих впливів процесу буріння необхідно перейти до другого етапу, який полягає у розв'язанні задачі керування відпрацюванням долота, тобто у визначенні ефективного часу буріння. Тут можливі два випадки: перший - коли випереджуючим є зношення оснащення, другий - коли випереджуючим є зношення опор долота. Це вирішується з використанням математичної моделі процесу буріння та спеціальних засобів контролю.

Прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень повинно здійснюватися безпосередньо в процесі буріння свердловини, без зупинки обладнання бурової установки. Труднощі прогнозування пов'язані з наявністю різних груп аварій і ускладнень, які принципово відрізняються і, як правило, не піддаються чіткому математичному опису.

Більшість аварій та ускладнень, що виникають під час буріння, можна поділити на дві основні групи: перша - аварії та ускладнення викликані геологічними причинами; друга - аварії та ускладнення, викликані технологічними причинами [9].

Процес прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень можна розглядати як певну послідовність діагностичних перевірок, ефективність яких залежить від стратегії пошуку діагнозу в множині можливих причин передаварійних ситуацій.

Формальним апаратом для роботи з невизначеною вхідною інформацією, такою як прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень, може служити теорія нечітких множин [7]. Використання цієї теорії дозволяє узагальнити відомі ймовірнісні моделі та представити їх у вигляді нечітких правил типу:

Р: ЯКЩО (умова) ТО (дія) ІНАКШЕ (дія).

Крім цього процедура нечіткого логічного виведення забезпечує використання експертних баз знань про пе-

редаварійні ситуації та ускладнення. Ефективне прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень дозволить скоротити собівартість кожного метра проходки і загальну собівартість буріння.

Отже, об'єкт оцінювання витрат, тобто процес буріння свердловини на нафту і газ, є складною динамічною системою з багатьма каналами передачі керуючих впливів, а також збурень, які зумовлені взаємодією системи з навколишнім середовищем та унікальними властивостями самої бурової установки.

Буріння свердловини є нестационарним випадковим процесом, що розвивається у часі. Основні складові технологічного процесу характеризуються складністю взаємозв'язків людини-оператора з технологічним об'єктом управління, з відповідними його системами та підсистемами. Складність процесу буріння свердловини, його певна невизначеність, викликана випадковістю та нечіткістю, зумовили існування різних структур оцінювання витрат: централізованої та ієрархічної.

Складну систему "буріння свердловини" на нафту і газ треба розглядати як сукупність взаємопов'язаних підсистем, об'єднаних спільною метою функціонування, що дозволяє врахувати важливі властивості:

- у задачах оцінювання витрат і управління бурінням свердловини властивості всієї системи суттєво відрізняються від властивостей елементів. Збільшення глибини свердловини веде до збільшення кількості елементів, з яких створена система, і до нових якісних змін властивостей об'єкта управління;
- у кожній з підсистем процесу буріння існує цільова функція, що відображає потреби системи під час буріння свердловини;
- система "буріння свердловини" має глобальну цільову функцію (мінімальна собівартість буріння), але локальні цільові функції підсистем не завжди співпадають з нею.

Можна констатувати, що на сьогодні відсутні розробки механізмів оцінювання витрат на буріння нафтових та газових свердловин. Відомі методи оцінювання дають інформацію про собівартість метра проходки з великою затримкою у часі, що не дозволяє використати цю інформацію для оперативного управління процесом буріння свердловини. Частина існуючих методів, що використовуються для визначення собівартості метра проходки, потребує суттєвого вдосконалення у напрямку застосування їх для розв'язання задачі прогнозування собівартості буріння свердловини. Основним недоліком існуючих систем оцінювання витрат на буріння нафтових і газових свердловин є ретроспективність аналізу та відсутність можливості отримання інформації про поточне значення собівартості свердловини.

Тому задача створення інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат в процесі буріння нафтових і газових свердловин є комплексною і включає розв'язок задач з економічних основ управління бурінням свердловини та розробку моделі інтегрованого оцінювання витрат.

Встановлено, що зменшення собівартості буріння свердловини на нафту і газ можливе за рахунок використання прогресивних систем оперативного оцінювання витрат, які базуються на прогнозуванні собівартості метра проходки свердловини та використанні методів нечіткої логіки. Для створення механізму оперативного оцінювання витрат в процесі буріння нафтових і газових свердловин, що реалізує даний метод, необхідно провести дослідження з метою з'ясування взаємозв'язків собівартості метра проходки та собівартості буріння свердловини з технологічними параметрами процесу буріння та глибиною свердловини.

Аналіз показників процесу буріння свердловин підтвердив необхідність отримання безперервної інформації щодо собівартості метра проходки, а декомпозиція задачі управління процесом буріння свердловин дає змогу використати системний підхід до вирішення задачі створення інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат у реальному часі.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВИТРАТ БУРОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Задачі оптимального оцінювання витрат на буріння свердловини можна поділити на дві групи: задачі, що розв'язуються на стадії складання оптимізованого проекту, та задачі, які необхідно розв'язати у процесі буріння свердловини [26].

У даному розділі розглянута друга група задач, від розв'язку яких значною мірою залежить ефективність процесу буріння свердловин.

Економічні засади оцінювання витрат на буріння свердловин на нафту і газ, що пропонуються, розроблені з врахуванням особливостей процесу буріння.

Обґрунтовуються та оцінюються напрямки підвищення оперативності оцінювання витрат в процесі буріння свердловин. У цьому контексті аналізуються моделі собівартості метра проходки, а також методики збору даних та експериментальних досліджень. Об'єктом досліджень обрано процес формування витрат на буріння нафтових і газових свердловин в умовах Прикарпаття. Сформульовані основні задачі моделювання витрат на буріння свердловини, проведена декомпозиція процесу буріння на декілька послідовних у часі етапів. Це дало змогу сформулювати базову ціль оцінювання витрат на буріння свердловини: пошук рішення для досягнення мінімуму собівартості буріння свердловини.

Досліджені взаємозв'язки показників собівартості буріння свердловини з параметрами режиму; створено дерево цілей та дана економічна оцінка ефективності методів оперативного оцінювання витрат на буріння свердловин.

2.1 Методика досліджень та аналіз структури виробничого процесу буріння свердловин

В останні роки для досліджень економіки дуже інтенсивно розробляються методи моделювання. Моделі економіки будуються як для теоретичних цілей економічного аналізу, так і для практичних цілей планування, управління та прогнозування. У відповідності з цим їх класифікують на такі типи: моделі планування (зокрема оптимального планування), моделі управління, моделі прогнозу, моделі зростання, моделі рівноваги. Змістовна модель економіки об'єднує такі основні процеси: виробництво, споживання, управління, планування, фінанси і т.п. Але в існуючих моделях практично завжди наголос робиться на якийсь один процес (наприклад, планування), тоді як всі інші розглядаються у спрощеному вигляді.

Залежно від того, якому економічному процесу приділяється більша увага при побудові та аналізі моделі економіки, використовують і відповідний математичний апарат. Моделі планування базуються, зазвичай, на системі лінійних алгебраїчних рівнянь і нерівностей, оскільки задача планування являє собою балансову ув'язку виробництва і споживання, різних складових частин, що математично виражаються у вигляді рівнянь та нерівностей.

Моделі оптимального планування вирішують екстремальні задачі з обмеженнями і, зазвичай, це задачі лінійного програмування типу: знайти максимум лінійної функції

кції $\sum_{j=1}^m a_{0,j} x_j$ при обмеженнях $x_j \geq 0, j = 1, \dots, m;$

$\sum_{j=1}^m a_{i,j} x_j \geq b_i, i = 1, \dots, n.$ Економічна інтерпретація цієї задачі

така. Вектори $(a_{0,j}, a_{1,j}, \dots, a_{i,j}, j = 1, \dots, m)$ інтерпретуються як способи виробництва, де числа $a_{i,j}$ - виробництво продукту з номером i у способі з номером j ; x_j - інтенсивність застосування способу j ; b_i - ресурси, або планове завдання виробництва продукції i .

Тоді задача оптимального планування полягає у наступному: визначити інтенсивності виробничих способів таким чином, щоб були виконані планові завдання; щоб не було перевитрат наявних ресурсів, а деяка окрема складова частина була вироблена у максимальній кількості.

Моделі управління базуються на різного роду екстремальних задачах, зокрема, задачах оптимального управління за принципом максимуму Понтрягіна [22].

Моделі зростання породжують екстремальні задачі особливого виду, що базуються на ідеї керованості економічних процесів.

У моделях прогнозу використовують апарат кореляційного та регресійного аналізу, ймовірності процесу та інші методи, що використовуються у задачах прогнозування. Моделі рівноваги базуються на теорії ігор.

Правильність побудованих математичних моделей економіки завжди підтверджується оцінками адекватності такої моделі реальній дійсності. Економічна статистика має справу зі сталими і відносно нескладними економічними розрахунками. Поява економетрії пов'язана з твердженнями про недостатність для економічного аналізу та прогнозування таких економіко-статистичних обчислень. Найбільший розвиток отримали в економетрії методи множинної кореляції. Але висновки, отримані за допомогою економетричних побудов, мають обмежене значення, тому що з довірою до отриманих оцінок можна відноситися лише за незначних змін параметрів. Досвід показує, що достатньо точне прогнозування економічних характеристик і показників передбачає внесення у моделі факторів соціального значення. Це може бути забезпечено за допомогою методів нечіткої логіки.

Оскільки у монографії розглядаються питання побудови моделі прогнозування та оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ, то відповідно використовується і математичний апарат лінійних алгебраїчних рівнянь, оптимального управління, статистичні методи, методи нечіткої логіки та ін.

Математичний аналіз ґрунтується на інформації щодо процесу буріння свердловини, тому виникає потреба

у зборі даних і проведенні експериментальних досліджень для отримання необхідної інформації.

Особливості процесу буріння свердловин, до яких належать стохастичність, нестационарність, розвиненість в часі, ускладнюють дослідження властивостей виробництва, побудову моделей та розв'язок на їх основі задач планування та оцінювання витрат.

З метою зменшення впливу випадкових величин на залежності, що вивчаються, значну увагу було приділено плануванню експериментів.

Процес буріння свердловини вивчено ще недостатньо. Взаємозв'язки між економічними показниками, параметрами режиму буріння та факторами, що визначають зовнішні умови буріння свердловини, досліджені не до кінця. Враховуючи стохастичний характер процесу буріння, сформулюємо постановку задачі досліджень статистичних характеристик: при визначенні статистичних характеристик процес повинен бути віднесений до якогось класу випадкових процесів, тобто має бути побудована його математична модель; підставою для побудови моделі є апріорна інформація щодо об'єкта, джерелом якої можуть бути літературні дані, точка зору провідних фахівців-експертів, думка персоналу, що експлуатує бурову установку тощо; ця інформація повинна доповнюватися та уточнюватися під час проведення експериментів.

Відповідно до поставленої задачі, нами прийнята методика досліджень витрат на буріння свердловини, що ґрунтується на результатах експертизи та експериментів з наступною обробкою експериментальних даних за допомогою кореляційно-регресійного аналізу та інших методів математичної статистики.

Враховуючи вплив перешкод, особлива увага у роботі приділялася вірогідності результатів експериментів. Експеримент проводився з метою отримання достатньої кількості промислових даних для статистичного аналізу закономірностей зміни економічних показників буріння свердловини в часі, на різних глибинах, в породах з різними фізико-механічними та абразивними властивостями.

Отримані у результаті досліджень експериментальні дані оброблялися ПЕОМ за допомогою пакетів, що містять комплект програм для інженерних наукових розрахунків MathCad 7.0, які відповідали поставленим задачам.

Експериментальні дослідження проводилися на бурових установках Прикарпаття, які внаслідок великої складності і різноманітності умов буріння, техніки, що використовується, та технології буріння свердловин, можуть слугувати моделлю типового об'єкта бурових робіт.

У тектонічному відношенні цей район розташований у межах двох структурних елементів Карпат – Берегової скиби і внутрішньої зони Прикарпатського краєвого прогину, який являє собою складчастий комплекс і характеризується сильною дислокованістю, порушеннями у вигляді скидів і насувів, багатоповерховою складчастістю [32].

Геологічні розрізи площ Прикарпаття, що розбурюються, представлені комплексом відкладень від третичного до палеозойського віків. У геологічній будові родовищ, наприклад, Долинського нафтопромислового району, мають місце відкладання крейдової, палеогенової та неогенової систем.

Механічні властивості гірських порід Прикарпаття вивчені до глибини 4000-4500 м. [32]. Коефіцієнти міцності, визначені за методиками професора Протод'яконова М.М., Барона Л.І., змінюються від 2 до 17.

Розподіл порід розрізу за буримістю, яка визначена на основі твердості по штампу, коефіцієнтів пластичності та абразивності такий: за буримістю породи воротищинської серії відносяться до середньої категорії (С); відкладення поляницької свити і верхньоменілітової підсвити – до середньої та середньо-твердої категорії (С і СТ); породи бистрицької свити – до середньо-твердої категорії (СТ); середньо- та нижньоменілітові відкладення і породи манявської свити – до твердої категорії (Т); породи Вигодської свити і стрийської серії – до твердої породи (ТК); породи ямницької свити – до міцної категорії (К).

Відомості про механічні властивості гірських порід Прикарпаття свідчать про те, що геологічні розрізи площ,

які розбурюються, характеризується високою неоднорідністю. Крім того, в окремих стратиграфічних підрозділах пластові тиски змінюються від аномально низьких до аномально високих, що вимагає використання бурових розчинів різної густини [32].

До основних задач моделювання процесу буріння свердловин можна віднести:

- проведення системного аналізу взаємодії змінних з метою визначення множини характеристичних змінних та розподілу її на підмножини незалежних і залежних змінних;
- структурну й параметричну ідентифікації об'єкта буріння свердловин з уже відомими моделями;
- якісне та кількісне прогнозування собівартості буріння свердловини;
- стратегічне управління та прийняття рішень.

Було враховано, що існує два підходи до моделювання:

I-й - базування тільки на досвіді спостережень за бурінням свердловини, поданого у вигляді уявлень користувача, що склалися в нього про цей об'єкт;

II-й - порівняння ряду розрахунків на основі дослідних даних як результатів проведення експерименту.

Перший підхід супроводжується використанням принципів імітаційного моделювання; другий – експериментального методу самоорганізації моделей [33].

Оскільки уразливим місцем імітаційних методів є те, що користувач загальної моделі змушений зазначити закономірності всіх елементів системи буріння свердловини, в тому числі й для тих, які він знає гірше від інших, або які взагалі в найменшій мірі піддаються імітації, був застосований комбінований метод, у якому використовуються обидва підходи і який сприяє найвищій ефективності дослідження складних об'єктів, до яких відноситься і буріння свердловини на нафту і газ.

Цей підхід дає змогу формувати моделі погано вивчених елементів буріння свердловини за допомогою экс-

периментальних методів самоорганізації моделей (тобто перебирання моделей), тоді як відомі елементи задаються безпосередньо користувачем моделі.

Побудова динамічної моделі процесу буріння свердловини на нафту і газ у цьому разі зводиться до виконання наступних етапів:

1. Виявлення змінних, які характеризують процес, та планування експериментів.
2. Реєстрація даних під час спостережень за процесом буріння свердловини через однакові інтервали часу та кроків у просторі вимірювань при проведенні експериментів.
3. Вибір фізичного закону, який доцільно покласти в основу моделі. Якщо в основу моделювання важко покласти той чи інший фізичний закон, слід застосувати індуктивний підхід, згідно з яким структура моделі оптимальної складності підбирається випробуванням кількох моделей претендентів за критеріями селекції. При цьому у просторі критеріїв кожній моделі відповідає певна характеристична точка. Відповідно до принципу самоорганізації систем вибирається деяка кількість моделей, отже й точок, найближче розташованих до початку координат. З вибраних кращих моделей береться одна за головним критерієм селекції.
4. Заміна безперервного математичного опису його дискретним аналогом у вигляді різницевого рівнянь.
5. Оцінювання й адаптування коефіцієнтів різницевого рівняння.

Перебирання моделей процесу буріння свердловини належить до експериментальних методів моделювання, оскільки воно ґрунтується на обробленні активного або пасивного елементів. Перебирання моделей передбачає визначення моделі оптимальної складності, коли при поступовому ускладненні структури моделі (наприклад, при збільшенні ступеня поліноміальної моделі або кількості членів) є мінімум критерію селекції, який визначає модель оптимальної складності.

Оскільки аналітична залежність критерію селекції від складності моделі невідома, задача пошуку його мінімуму розв'язується шляхом перебирання багатьох моделей-претендентів.

У програмі, що реалізує самоорганізацію (перебір) моделі, передбачені блок генерування множини моделей-претендентів, блок обчислення значень певного критерія та вихідний блок вибору моделі оптимальної складності за мінімумом цього критерію.

В якості алгоритму самоорганізації моделей вибрали однорядний (комбінаторний) алгоритм, який реалізує метод групового врахування аргументів [33]. Цей алгоритм вибраний тому, що кількість членів певного опису априорі відома і дорівнює $m \leq 18$, виходячи з можливостей ЕОМ.

Для забезпечення самоорганізації моделі з сукупності критеріїв селекції вибрали критерій мінімуму зсуву:

$$m_{zc}^2 = \frac{\sum_1^M (\hat{g}_A - \hat{g}_B)^2}{\sum_1^M g_\phi^2} \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де \hat{g}_A, \hat{g}_B - виходи моделей однакової структури, коефіцієнти яких обчислено на ділянках А та В вибірки;

g_ϕ - фактичні табличні дані;

$M = M_A + M_B$ - множина точок початкових даних, поділена на дві частини:

$$M_A \cong 70\%, \quad M_B \cong 30\%.$$

За обраним критерієм селекції пропонується комбінаторний алгоритм, який виконує перебирання окремих моделей із заданого базису з вибором найкращої. При перебиранні складність окремих моделей поступово нарощується від 1 до m (m - кількість аргументів базисного набору функцій).

Отже, загальна схема запропонованого комбінаторного алгоритму зводиться до виконання таких операцій:

- за методом найменших квадратів визначаються коефіцієнти окремих моделей при складності $K = \overline{1, m}$;
- для кожної з моделей обчислюються значення критерію селекції;
- єдина модель оптимальної складності обирається за найменшим значенням обраного критерію (2.1).

Таким чином, вибраний однорядний (комбінаторний) алгоритм ґрунтується на методі повної математичної індукції, оскільки при цьому не пропускається жоден з можливих варіантів моделі, закладених у початковому повному базисі.

У структурі цього алгоритму можна виділити три основні блоки [33]:

- блок формування базису, де здійснюється перетворення часткових даних відповідно до вибраної системи базисних функцій, в якій відшукується модель (базис може бути, наприклад, поліномним);
- блок генерування (перебирання) окремих моделей, що виконує перебирання множини ускладнених моделей у вибраному базисі;
- блок відбирання окремих моделей за зовнішнім критерієм, що організує обчислення критеріїв селекції (2.1) та послідовне відбирання окремих моделей, кращих за цим критерієм.

Селекція кращих моделей за критерієм (2.1) виконується не наприкінці їх перебирання, а в його процесі. З цією метою заповнюються значення критерію для заданої кількості перших моделей, після чого значення критерію для кожної наступної моделі порівнюється з найгіршим із заданої кількості значень. Якщо значення менше максимального найгіршого, то нова модель запам'ятовується замість найгіршої (запам'ятовується структура моделі, оцінки коефіцієнтів та критеріїв); якщо значення більше або дорівнює максимальному найгіршому, то модель з подальшого аналізу виключається. Після закінчення переби-

рання моделей ті з них, що залишилися, і є найкращими за заданим критерієм селекції.

Оцінювання якості вибраних кращих моделей виконується за допомогою квадратичної похибки апроксимації та похибки екстраполяції (прогнозування).

З літературних джерел відомо, що за традиційною схемою організації моделювання, коли інформаційними потоками обмінюється дослідник та імітаційна модель, зворотній зв'язок за результатами моделювання здійснює людина із залученням допоміжних засобів програмного забезпечення. При цьому дослідник виконує функцію перетворення інформації, що складається з інтерпретації результатів і прийняття рішень стосовно управління експериментами.

Схема планування експериментів на виконавчому рівні управління бурінням свердловини на нафту і газ показана на рис. 2.1.

Згідно зі схемою рис. 2.1, користувач формує стратегію організації експериментів відповідно до мети, що визначається вхідним словом M1. M2 – вихідне слово, що визначає основні результати експерименту.

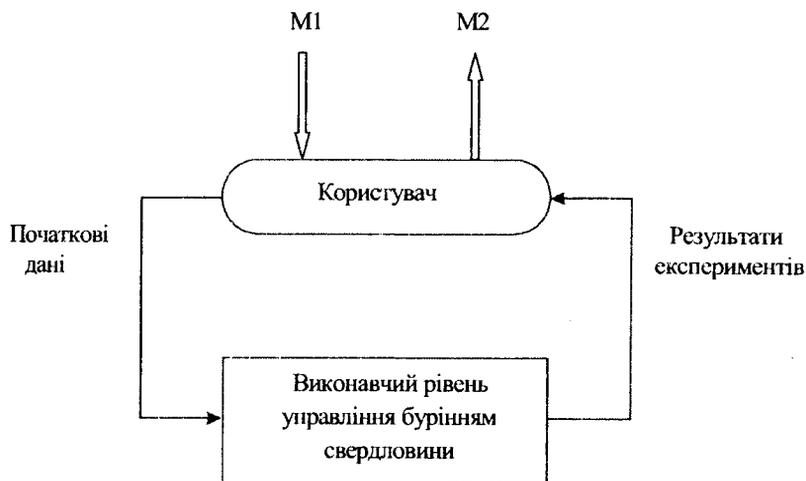


Рис.2.1 Модель планування експериментів на виконавчому рівні управління бурінням свердловини на нафту і газ

Наявність людини у модулі планування експериментів суттєво обмежує можливості моделей через професійні здібності дослідника, його досвід, можливості роботи моделі у реальному часі, вірогідність оцінок результатів проведених експериментів тощо. Розширення можливостей моделей може забезпечити автоматизація управління експериментом.

Автоматизація управління експериментами припускає [7] створення замкнутого програмнореалізованого контуру керування імітаційною моделлю в межах засобів зовнішнього програмного забезпечення.

Спрямовані серії експериментів відповідно до загальної мети $M1$ і з урахуванням обмежень зміни режимно-технологічних параметрів організують модулі, що спеціально введені до складу зовнішнього програмного забезпечення. Ці модулі задають набори початкових даних, ініціюють прогони моделі, обробляють результати та приймають рішення про подальший перебіг експериментів відповідно до реалізованого алгоритмом управління моделюванням. Такий алгоритм, спрямовуючи експерименти, здійснює пошук такого поєднання допустимих значень параметрів, що забезпечує оптимальне значення заданого показника якості, тобто фактично розв'язує задачу оптимізації:

$$f(\bar{x}) \rightarrow \max,$$

$$\bar{x} \in X$$

де f – цільова функція подана алгоритмічно-імітаційною моделлю;

$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор параметрів об'єкту моделювання;

X – множина допустимих значень параметрів.

Функції системи автоматизованого управління експериментом при бурінні свердловини на нафту і газ полягають в аналізі альтернативних варіантів поведінки об'єкта

після прийняття того чи іншого можливого рішення щодо оперативного планування, диспетчерування тощо. Ефективність реалізації цих функцій зумовлена заміною жорсткої логіки управління, що передбачає використання в окремих ситуаціях заданих і фіксованих евристик, гнучким і динамічним механізмом, який забезпечує прийняття рішень не тільки на підставі докладного аналізу поточного стану буріння свердловини, а й з урахуванням перспектив його розвитку. При цьому поєднується висока вірогідність результатів та можливість автоматизованого прийняття рішень у режимі реального часу.

Методологія стратегічного управління підприємством передбачає необхідність узгодження його з процедурою розробки, прийняття та реалізації стратегічних рішень. Сама стратегія повинна втілюватися в оперативні плани досягнення мети. Отже, необхідно ретельно вивчити та чітко формулювати цілі, що стоять перед процесом буріння свердловини, тому що цілі грають орієнтаційну, стимулюючу роль. При формуванні цілей будемо користуватись такими принципами як зрозумілість, конкретність, досяжність, вимірювальність, ієрархічність, множинність, взаємоузгодженість, мобілізаційність, переконливість.

Раніше відзначалося, що буріння свердловини - це складний економічний об'єкт з декількома підсистемами, що мають різні цілі. Враховуючи це, проведемо аналіз структури процесу буріння як найважливішої складової процесу будівництва свердловини. Результати наведені на рис. 2.2.

При аналізі та виборі цілей стратегічного управління будемо враховувати, що будівництво свердловини складається з декількох послідовних в часі етапів, які мають досить велику тривалість.

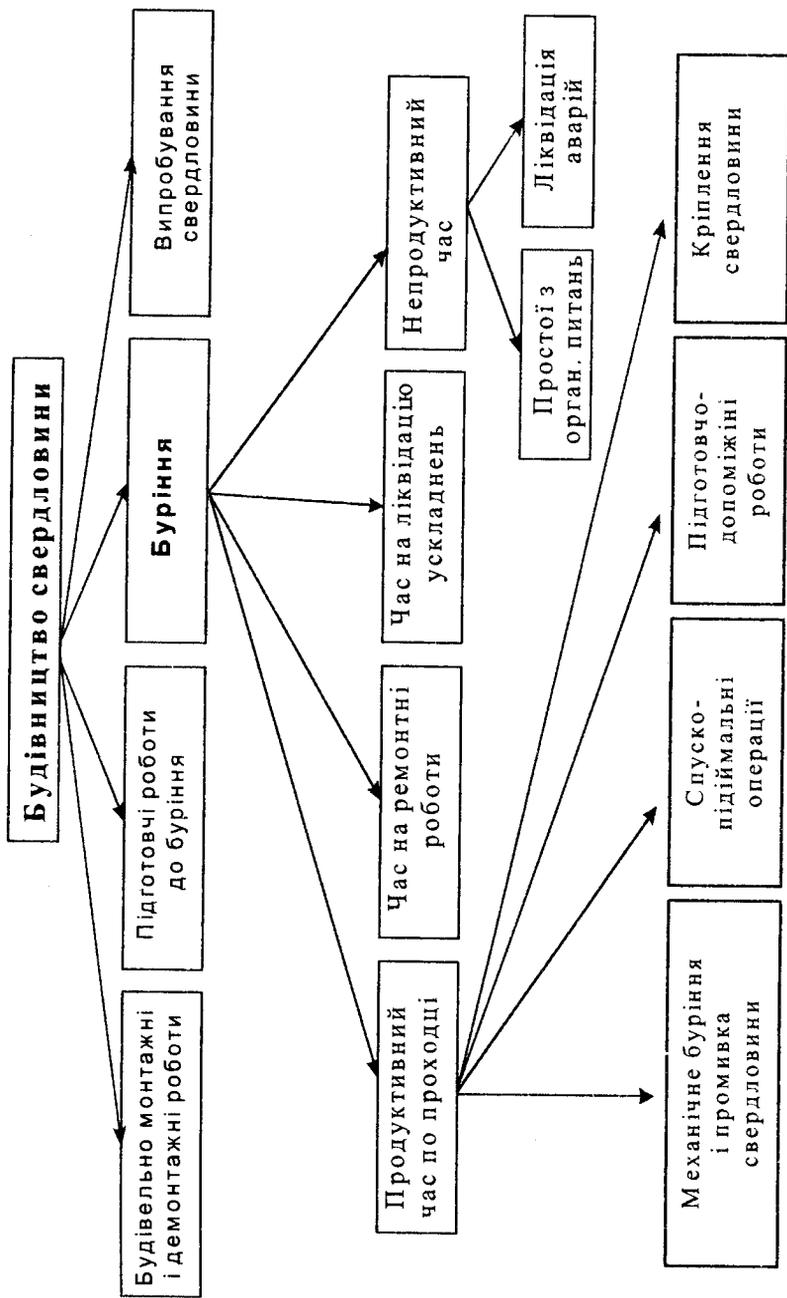
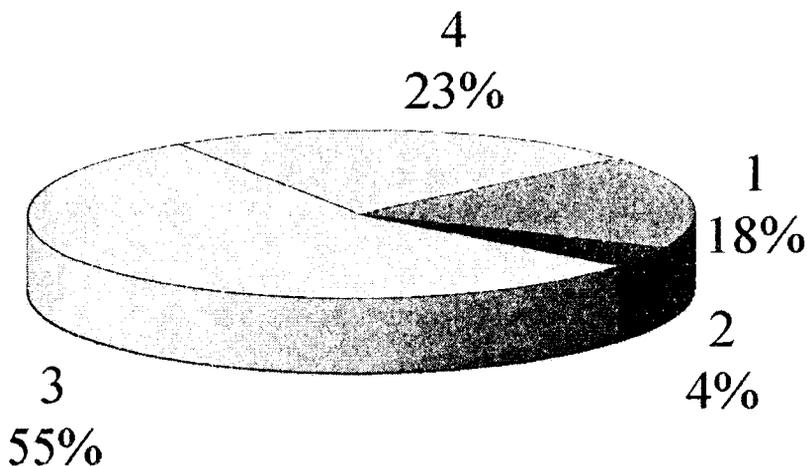


Рис.2.2 Структура процесу будівництва свердловин на нафту і газ

На рис. 2.3 представлені основні елементи балансу часу будівництва семи свердловин глибиною до 2100 м, які визначені за фактичними даними Прикарпатського УБР ВАТ "Укрнафта".



- 1 – Будівельно-монтажні та демонтажні роботи;
- 2 – Підготовчі роботи ;
- 3 – Буріння;
- 4 – Освоєння свердловини.

Рис.2.3 Структура балансу календарного часу спорудження експлуатаційних свердловин за даними Прикарпатського УБР ВАТ "Укрнафта", %

Роботи з буріння свердловини оплачуються за їх кошторисною вартістю, яка містить крім кошторисної собівартості, планові нагромадження, що є основною часткою прибутку бурового підприємства. Кошторисна вартість є ціною свердловини, за якою вона реалізується нафтогазовидобувному управлінню.

Проте, кожна свердловина має свій цикл будівництва, який відрізняється від інших. Наприклад, для свердловини 176-Рибальська ВАТ "Укрнафта" він такий (табл.2.1):

Таблиця 2.1

Цикл будівництва свердловини 176-Рибальська

Елементи балансу часу	Кількість, діб	Відсоток
Цикл будівництва	574	100
в т.ч.: - вежобудування	58	10,1
- буріння	281	48,9
- освоєння	235	41,0

Бачимо, що найбільший відсоток у балансі часу має буріння свердловини.

Більш детальний аналіз календарного часу для свердловини 176- Рибальська показав, що він такий:

Таблиця 2.2

Баланс календарного часу на буріння свердловини 176-Рибальська

Показник	Значення, годин
Календарний час, всього	6737
Продуктивний час, всього	6001
в т.ч.: - буріння	2130
- нарощування	1202
- кріплення	792
- допоміжні роботи	1591
- ремонт	215
- ускладнення	71
Непродуктивний час, всього	736
в т.ч. – простої	456
- аварії	280

Продуктивний час становить 89,1% календарного часу, а час буріння складає 35, 5% продуктивного часу.

Найбільш складним є вибір оперативних цілей безпосередньо для процесу буріння, оскільки це дуже складний технологічний процес. Оперативними цілями оціню-

вання витрат на буріння свердловини є зниження загальних витрат B_{cc} при фіксованому часі на буріння свердловини $t_c = const$ та заданої глибини $H = const$:

$$B_{cc}(x) \xrightarrow{x \in S} \min, x = (t_c, H); S = \left\{ \sum_{i=1}^N h_i = H; h_i > 0 \right\}, \quad (2.2)$$

або зниження витрат часу t_c на буріння свердловини при плановій глибині свердловини H і заданих витратах B_{cc} на її спорудження:

$$t_c(x) \xrightarrow{x \in S} \min, x = (B_{cc}, H); S = \left\{ \sum_{i=1}^N h_i = H; h_i > 0 \right\}. \quad (2.3)$$

Загальний час t_c складається з часу, що витрачається на монтаж і демонтаж обладнання, на буріння свердловини, кріплення, геофізичні роботи, випробування та додаткових витрат часу.

Ціль (2.3) еквівалентна збільшенню комерційної швидкості буріння, яка визначається за формулою (1.7).

Використання цілі (2.2) є найбільш доцільним, оскільки вона дає змогу формалізувати задачу оцінювання витрат на буріння свердловини та раціонально використовувати матеріальні, енергетичні та трудові ресурси.

Але цілі (2.2) і (2.3) не враховують зміни умов буріння, які мають детерміновано-стохастичний характер. Детермінованою складовою є бурове обладнання, стохастичною – властивості гірських порід і доліт, що взаємодіють між собою; властивості бурового розчину і колони бурильних труб, що є зв'язуючою ланкою між вибоєм свердловини та поверхнею. Зміна цих властивостей носить не тільки стохастичний, але й нестационарний характер.

Зрозуміло, що для оцінювання витрат на буріння свердловини на тактичному рівні потрібні цілі, які враховують зміну "оперативної" обстановки при бурінні свердловин, тобто фізико-механічних властивостей гірських по-

рід, властивостей бурового розчину, умов взаємодії породуйнівного інструменту з гірською породою.

У роботах [19,20] зроблена порівняльна оцінка техніко-економічної ефективності процесу буріння за допомогою 12 критеріїв, що були сформульовані різними авторами на основі інформації про проходку, рейсову і механічну швидкість. Вони віднесені до критеріїв тактичного рівня.

Їх поділяють на дві групи: критерії відпрацювання доліт та критерії вибору режимних параметрів для буріння свердловини. Перша група критеріїв призначена для раціонального відпрацювання доліт.

Друга група критеріїв тактичного рівня призначена для вибору режимних параметрів. До них відносяться: $\min: B$; $\max: v_p$; $\max: v_m$; $\max: h(t_0)$.

Найбільш перспективною є оптимізація оцінювання витрат на буріння, що передбачає управління технологічним процесом на основі закономірностей, що реалізують критерії $\min: B$ та $\max: v_p$ [10,19,20,23].

Звичайно на ефективність процесу буріння суттєво впливають обмеження за потужністю приводу долота, що пов'язані з законом регулювання параметрів режиму буріння, із зношенням долота та ін. Оптимізувати показники процесу буріння неглибоких свердловин можливо також лише за наявності технологічних обмежень.

2.2 Дослідження існуючих методів оперативного оцінювання витрат на буріння нафтових і газових свердловин

Доведемо, що за відсутності впливу обмежень на процес буріння глибоких нафтових і газових свердловин показники (1.3), (1.5), тобто рейсова швидкість буріння v_p та собівартість метра проходки B_c не мають екстремумів. Для цього розглянемо процес буріння свердловини роторним способом який використовується для буріння нафтових і газових свердловин найбільш часто. Будемо вважати, що обмеження на потужність двигуна роторного стола відсутнє; осьове навантаження P на долото та швидкість його

обертання n незалежні; відсутнє обмеження на довжину бурильної колони; в процесі буріння породоруйнівний інструмент не зношується, тобто механічна швидкість буріння $v(t) = const$ і час чистого буріння необмежений, $t \rightarrow \infty$; механічна швидкість буріння не має екстремумів, тобто:

$$\frac{dv_m}{dP} \neq 0; \frac{dv_m}{dn} \neq 0. \quad (2.4)$$

За даними умовами основні показники процесу буріння можна визначити так:

- проходка на долото:

$$h_p = v_m \cdot t; \quad (2.5)$$

- рейсова швидкість буріння [19]:

$$v_p = \frac{h}{t + t_{cno}} = \frac{v \cdot t}{t + t_{cno}}; \quad (2.6)$$

- собівартість метра проходки свердловини [5, 34, 48, 36]:

$$B_c = \frac{B_0 (t + t_{cno}) + B_d}{h}, \quad (2.7)$$

де B_0 - вартість 1 години роботи бурової установки без вартості долота;

t_{cno} - час, що витрачається на спуско-підіймальні і допоміжні операції; $t_{cno} \neq 0$;

B_d - вартість долота.

Вартість однієї години роботи бурової установки визначається на підставі вартості (трансфертної ціни) однієї доби буріння, кріплення та випробування. Вона розраховується на один наступний плановий квартал поточного року для конкретного бурового підприємства, узгоджується з нафтогазовидобувним управлінням і затверджується керівництвом об'єднання, наприклад ВАТ "Укрнафта"

[24,48]. При визначенні трансфертної ціни враховуються тільки витрати, пов'язані з тривалістю робіт, тобто витрати, залежні від часу.

За одиницю робіт приймається вартість доби роботи бурового верстату при бурінні, кріпленні та випробуванні свердловин. Трансфертні ціни на етап "Буріння, кріплення та випробування свердловин" розробляються та затверджуються на групу свердловин по кожній площі на кварталну тривалість робіт.

Матеріальні витрати, що не залежать від тривалості робіт, а залежать від глибини буріння, конструкції свердловини (обсадні труби, долота, хімреагенти, глина, цемент для кріплення основних колон) в трансфертну ціну не включаються.

З виразу (2.6) випливає, що проходка під час буріння збільшується за лінійним законом і немає ні екстремуму, ні границі.

Взявши похідні від виразу (2.7) по осьовому навантаженні P , швидкості обертання n та часу t , одержимо:

$$\frac{\partial v_p}{\partial P} = \frac{t \partial v_m}{t + t_{cno} \partial P} \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial v_p}{\partial n} = \frac{t \partial v_m}{t + t_{cno} \partial n}, \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial v_p}{\partial t} = \frac{v_i t_{cno}}{t + t_{cno}}. \quad (2.10)$$

З рівнянь (2.8) - (2.9) видно, що рейсова швидкість буріння також не має екстремуму від режимних параметрів P і n , але є безперервно зростаючою функцією часу t чистого буріння. З рівняння (2.10) видно, що похідна від рейсової швидкості буріння

$\frac{\partial v_p}{\partial t} \rightarrow 0$ лише при $t \rightarrow \infty$.

Для множини дозволених режимів буріння нафтових і газових свердловин вибрані наступні технологічні обмеження [20,23] у вигляді нерівностей:

$$\begin{aligned} P_{\min} \leq P \leq P_{\max}; \quad n_{\min} \leq n \leq n_{\max}; \quad Q = \text{const}; \quad N \leq N_{\text{дон}}; \\ v_{\text{сно}} \leq (v_{\text{сно}})_{\max}; \quad M_{\text{д}} \leq (M_{\text{д}})_{\max}; \end{aligned} \quad (2.15)$$

$\mu \leq \mu_{\text{дон}}$, коли знос визначається зміною лінійних параметрів долота;

$T(P) \leq T_{\text{дон}}$, коли знос визначається часом відпрацювання долота.

Тут Q – витрата бурового розчину;

$M_{\text{д}}$ - момент на долоті;

$v_{\text{сно}}$ - швидкість спуско-піднімальних операцій;

N – потужність двигуна роторного механізму, електробура, турбобура;

μ - фізичний знос долота;

T – час відпрацювання долота.

Крім обмежень (2.15), можливе виділення заборонених зон для швидкості обертання, яка відповідає зоні вібрації інструменту, що властиве роторному способу буріння.

Тому, при зміні умов буріння, які пов'язані з переходом долота у пласт породи з іншими фізико-механічними та абразивними властивостями виникає необхідність пошуку нових оптимальних параметрів режиму. Вибір параметрів режиму буріння, кількості і якості бурового розчину, режиму відпрацювання долота можемо зробити, спираючись на визначений критерій оптимальності. Для буріння глибоких свердловин на нафту і газ найбільш прийнятним є економічний критерій – мінімум собівартості метра проходки (2.7) з обмеженнями (2.15).

Критерій (2.7) є загальним, оскільки з нього можна одержати інші критерії:

- при $B_0 = 0$ і $B_0 = 1$ - проходку за рейс (h^{-1}) ;

- при $B_0 = 1$ і $B_o = 0$ - рейсову швидкість буріння (v_p^t);
- при $B_0 = 1$ і $B_o = 0$; $t_{сно} = 0$ - середню швидкість буріння (v_{cp}).

Отже, задача оптимізації полягає у забезпеченні буріння свердловини з оптимальними параметрами режиму незалежно від зміни умов буріння.

У практичних умовах важливим критерієм ефективності методів оптимального управління є точність рішення по відношенню до оптимального значення параметрів режиму, яка оцінюється по кінцевому значенню відносної помилки оптимізації $\delta_{кін}$ [11] по собівартості метра проходки:

$$\delta_{кін} = \frac{B_{C\text{кін}} - B_{C\text{мін}}}{B_{C\text{мін}}} \cdot 100\%, \quad (2.16)$$

де $B_{C\text{кін}}$ - кінцева фактична собівартість метра проходки, яка відповідає визначеному оптимальному режиму буріння (P_{opt}, n_{opt}), грн/м;

$B_{C\text{мін}}$ - мінімальна собівартість метра проходки, яка може бути досягнута в дійсно оптимальному режимі буріння (P_{opt}^*, n_{opt}^*), грн/м.

Аналогічно можна розрахувати початкову помилку оптимізації:

$$\delta_{поч} = \frac{B_{C\text{поч}} - B_{C\text{мін}}}{B_{C\text{мін}}} \cdot 100\% , \quad (2.17)$$

де $B_{C\text{поч}}$ - початкова собівартість метра проходки, яка відповідає початковому режиму буріння, грн/м.

З врахуванням початкової помилки оптимізації $\delta_{поч}$, яка відповідає початковому режиму буріння (P_{opt}, n_{opt}), можна визначити приведену кінцеву помилку оптимізації:

$$\delta_{кин}^* = \frac{\delta_{кин}}{\delta_{поч}}. \quad (2.18)$$

Вона характеризує зниження помилки оптимізації в процесі пошуку оптимального режиму.

Крім того, для оцінки ефективності методів оперативного пошуку оптимального режиму буріння з урахуванням кінцевої помилки, швидкодії системи та ефективності організації активного експерименту можна використати інтегральний критерій – середню за рейс відносну δ_p помилку оптимізації, яка визначається втратами коштів за час активного експерименту та втратами коштів, викликаними неточністю вибраного оптимального режиму

$$\delta_p = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i \Delta h_i + \delta_{кин} \Delta h_3}{h_0 + \Delta h_3} \cdot 100\%, \quad (2.19)$$

де δ_i - помилка оптимізації на i -му кроці, що визначається відхиленням поточної вартості метра проходки $B_{ci}(P_i, n_i)$ від мінімальної B_{cmin} , %;

Δh_i - проходка на i -му кроці, яка відповідає часу буріння з параметрами режиму P_i, n_i , м;

$h_0 = \sum_{i=1}^n \Delta h_i$ - проходка за час визначення оптимального режиму, м;

Δh_3 - проходка, яка залишилась до кінця рейсу після закінчення вибору оптимального режиму, м;

$\delta_{кин}$ - кінцева помилка оптимізації, яка відповідає розшуваному оптимальному режиму буріння, %.

Приведене значення середньої помилки оптимізації за рейс можна розрахувати за формулою

$$\delta_p^* = \frac{\delta_p}{\delta_{поч}} \cdot 100\%. \quad (2.20)$$

Формули (2.20) і (2.21) дають змогу порівняти різні методи пошуку оптимальних параметрів режиму буріння. Аналіз існуючих методів показав, що метод Бревдо Г.Д., який базується на 16 пробних режимах із заміщенням пробних режимів по рівномірній мережі, дає кінцеву помилку пошуку 8,7 %, а рейсову – 12,6 %.

Метод стохастичної апроксимації з трикутним робочим контуром і змінним кроком, запропонований Шраго Л. Г. для пошуку оптимального навантаження на долото і швидкості обертання ротора в процесі пробного буріння, дає кінцеву помилку пошуку 10,1 % і рейсову – 11,4 %. На кожному режимі вимірюється механічна швидкість буріння і розраховується собівартість метра проходки, яка відповідає даному режиму. За результатами виконання кожного циклу визначається напрямок найшвидшого зниження собівартості метра проходки; в цьому напрямку визначається базовий режим наступного циклу та здійснюється новий цикл до досягнення оптимального режиму буріння, який забезпечує мінімальну собівартість метра проходки.

Враховуючи те, що методика вибору оптимальних параметрів режиму буріння, що описана в [23] використовує лише 3 кроки пошуку мінімуму собівартості метра проходки під час активного експерименту та пробні кроки суміщені з робочими, можна очікувати, що цей метод дасть мінімальну кінцеву $\delta_{\text{кін}}$ і рейсову δ_p^* помилку пошуку. Якщо в процесі буріння спостерігається суттєве відхилення величини критерію оптимізації (як наслідок зміни геолого-технологічних умов) від запланованого значення, то переналаштовується система управління на нові умови буріння шляхом відповідної зміни параметрів режиму буріння. Необхідно при цьому враховувати, що зміна умов буріння не є аварійною ситуацією.

Відносне відхилення критерію оптимальності δ визначається

$$\delta = \left| \frac{B_c - B_{c \min}}{B_{c \min}} \right| \cdot 100\% \quad (2.21)$$

де B_c – собівартість метра проходки, яка прогнозується на кінець даного рейсу для існуючих фактичних умов буріння, грн/м;

$B_{c \min}$ - собівартість метра проходки, запланована при оперативній оптимізації для умов, при яких виконується налаштування оптимального режиму буріння, грн/м.

Допустиме відносне відхилення критерію оптимальності приймається $\leq 5\%$. Якщо $\delta > 5\%$, то необхідно здійснювати вибір варіанта продовження буріння, який забезпечує оптимальне відпрацювання долота, а саме:

- продовжити буріння даним долотом;
- підняти долото і замінити його новим.

Для цього треба оцінити вартість метра проходки для кожного варіанта. Якщо прийняте рішення стосовно продовження буріння відпрацьованим долотом, то собівартість метра проходки, що буде досягнена, може бути визначена так:

$$B_{cm} = \frac{B_0 (t_{\delta cm} + \Delta t_{\delta z} + t_{cno}) + B_{dc}}{h + \Delta h_{zcm}}, \quad (2.22)$$

де B_{cm} - собівартість метра проходки для буріння відпрацьованим долотом, грн/м;

$t_{\delta cm}$ - час буріння від початку рейсу відпрацьованим долотом, год.;

$\Delta t_{\delta z}$ - час буріння, що залишився до кінця рейсу і який визначається зносостійкістю відпрацьованого долота, год.;

t_{cno} - час на спуско-піднімальні та допоміжні операції, год.;

B_{dc} - вартість відпрацьованого долота, грн.;

h - проходка з початку рейсу відпрацьованим долотом, м;

Δh_{zcm} - проходка, що залишилась для відпрацьованого долота, м.

Для другого варіанту, тобто коли продовження буріння здійснюється новим долотом, собівартість метра

проходки визначається з врахуванням собівартості метра проходки відпрацьованим долотом. Тоді собівартість метра проходки, що може бути досягнена в наступному рейсі при бурінні новим долотом

$$B_H = B_{ст}^* \frac{h}{h + \Delta h_{знов}} + B_{нов} \frac{\Delta h_{знов}}{h + \Delta h_{знов}}, \quad (2.23)$$

де B_H - собівартість метра проходки для варіанта, коли долото замінюють новим, грн/м;

$B_{ст}^*$ - поточне значення собівартості метра проходки відпрацьованим долотом, грн/м;

$B_{нов}$ - собівартість метра проходки для нового долота, грн/м;

$\Delta h_{знов}$ - проходка новим долотом, м.

Тут

$$B_{ст}^* = \frac{B_0 (t_{б ст} + t_{сно}) + B_0}{h}, \quad (2.24)$$

$$B_{нов} = \frac{B_0 (t_{б нов} + t_{сно}) + B_0}{\Delta h_{знов}}, \quad (2.25)$$

де $t_{б нов}$ - час буріння новим долотом, годин;

B_0 - вартість нового долота.

Формули (2.24) і (2.25) дозволяють оцінювати ефективність буріння відпрацьованим і новим долотами, порівнюючи собівартості метра проходки для варіантів, що розглядаються.

Користуючись формулами (2.24) і (2.25) для різних варіантів, вибирають варіант, що має меншу собівартість метра проходки. Вибір пропонується робити на підставі логіко-лінгвістичних правил типу ЯКЩО (умова) ТО (дія) ІНАКШЕ (дія).

ЯКЩО найбільш ефективним є продовження буріння відпрацьованим долотом, ТО слід визначити необхід-

ність оперативної корекції параметрів оптимального режиму буріння і ЯКЩО ефект від корекції параметрів режиму буде не суттєвим, ТО слід закінчити рейс з існуючими параметрами режиму і фактичний час буріння визначити за допомогою засобів контролю відпрацювання долота, ІНАКШЕ продовжити буріння новим долотом.

ЯКЩО найбільш ефективним є продовження буріння новим долотом, ТО оцінити характеристики нового долота, перерахувавши характеристики відпрацьованого долота з врахуванням зносу опор і озброєння на основі моделі (2.23) та замінити відпрацьоване долото новим.

Логіко-лінгвістичні правила дають змогу формалізувати процедуру вибору варіанта буріння та використовувати їх як складову математичного забезпечення системи оцінювання витрат на буріння свердловини.

2.3 Критерії оптимальності управління процесом формування собівартості буріння нафтових і газових свердловин

Управління процесом буріння недоцільно здійснювати за одним критерієм. Якщо при бурінні на малих глибинах спостерігається значна різниця між показниками ефективності, що досягнуті при використанні критеріїв $\min: B$ або $\max: v_p$, то на великих глибинах цією різницею можна знехтувати.

Вважається, що до певної глибини свердловини слід використовувати спочатку критерій $\max: v_p$, а починаючи з критичного значення глибини $H_{кр}$, доцільно перейти на використання критерію $\min: B_c$, тобто користуватися правилом

$$\begin{aligned} P_1: v_p(x) &\xrightarrow{x \in S} \max; \\ B_c(x) &\xrightarrow{x \in S} \min. \end{aligned} \quad (2.26)$$

Бражніков В.А., та Фурне А.А. [21] запропонували зі збільшенням глибини свердловини послідовно використовувати такі критерії:

$$\begin{aligned}
 P_2 : v_m(x) &\xrightarrow{x \in S} \max; \\
 v_p(x) &\xrightarrow{x \in S} \max; \\
 B_c(x) &\xrightarrow{x \in S} \min; \\
 h_i(x) &\xrightarrow{x \in S} \max.
 \end{aligned}
 \tag{2.27}$$

У [20] доведено, що зі збільшенням глибини свердловини слід почергово використовувати критерії вибору режимних параметрів в такій послідовності

$$\begin{aligned}
 P_3 : v_p(x) &\xrightarrow{x \in S} \max; \\
 B_c(x) &\xrightarrow{x \in S} \min; \\
 h_i(x) &\xrightarrow{x \in S} \max,
 \end{aligned}
 \tag{2.28}$$

де $S = \left\{ (P_i, n_i)_{i=1, \dots, N}; P_{\min} \leq P_i \leq P_{\max}; n_{\min} \leq n_i \leq n_{\max}; \sum_{i=1}^N h_i = H; h_i > 0 \right\}$,

P_i, n_i – осьове навантаження на долото і швидкість його обертання у i -му рейсі.

Але до останнього часу залишалося відкритим питання вибору того чи іншого критерію і визначення критичного значення глибини свердловини $H_{кр}$, коли слід переходити від одного критерію до іншого. Ця задача вперше була розв'язана у роботі [20] Горбійчуком М.І.

Для вибору критеріїв оптимальності в залежності від глибини свердловини відповідно до (2.29) визначено таке правило:

$$\frac{H}{v_{cn}} + \frac{B_d}{B_c} + t_{\sigma} > \frac{\lambda_h - \lambda_l}{1 - \lambda_h} t_{\sigma}^*,
 \tag{2.29}$$

де $\lambda_h = \frac{h(t_{\sigma})}{h^*(t_{\sigma})}$; $\lambda_l = \frac{t_{\sigma}}{t_{\sigma}^*}$; $v_{cn} = v_c v_n (v_c + v_n)^{-1}$;

v_{cn}, v_n - відповідно середні швидкості спуску та підйому бурильного інструменту, м/год.;

t_{σ} - час буріння, год.

Це правило базується на припущенні, яке повинно забезпечити мінімум собівартості метра проходки свердловини. Тоді доцільно бурити за критерієм $I^* [h^*(t_\sigma), t_\sigma^*]$ в порівнянні з критерієм $I [h(t_\sigma), t_\sigma]$, якщо виконується умова

$$B_c^* < B_c, \quad (2.30)$$

де B_c^* , B_c – собівартості метра проходки свердловини при бурінні відповідно за критеріями $I^* [h^*(t_\sigma), t_\sigma^*]$ та $I [h(t_\sigma), t_\sigma]$.

Якщо виконується умова (2.30), то буріння за критерієм I^* ефективніше ніж за альтернативним критерієм I , і навпаки, невиконання умови (2.30) означає, що керування процесом буріння за критерієм I раціональніше ніж за критерієм I^* . Як бачимо, це ще одне лінгвістичне правило, що може бути використано для створення бази знань експертної системи.

Аналіз (2.30) показує, що правило визначається глибиною свердловини на початку чергового рейсу, вартістю долота, організацією бурових робіт, технічними можливостями обладнання і не залежить від параметрів режиму буріння.

Зрозуміло, що існує така критична глибина $H_{кр}$ свердловини, коли $I^* [h^*(t_\sigma), t_\sigma^*] = I [h(t_\sigma), t_\sigma]$. Виходячи з останньої умови і помінявши у (2.30) знак нерівності на знак рівності, визначили, що перехід від одного критерію до іншого здійснюється за схемою (2.29) тоді, коли глибина свердловини досягає критичного значення:

$$H_{кр} = v_{cn} \left(\frac{\lambda_h - \lambda_t}{1 - \lambda_h} t_\sigma^* - \frac{B_\sigma}{B_c} - t_\sigma \right) \quad (2.31)$$

Таким чином, (2.31) дає можливість визначити цю критичну глибину свердловини.

Час спуско-піднімальних операцій t_{cn} , який входить до структури критеріїв $min : B$ і $max : v_p$, у [49] рекомендується визначити за формулою:

$$t_{cn} = \frac{\epsilon_n}{1,33 \cdot 10^{-6} N} H^2 + \left(0,6\epsilon_n + 5,5\epsilon_n^{1/4} + 2,8\right) \cdot 10^{-4} H + 0,2, \quad (2.32)$$

де ϵ_n - вага погонного метра бурової колони, кг/м;

N - потужність приводу бурової лебідки, кВт;

H - глибина свердловини на початок чергового рейсу, м.

До структури формули (2.32) входить собівартість метра проходки свердловини B_c , яку можна визначити лише після закінчення рейсу долота. Тобто протягом рейсу долота скористатись формулою (2.32) неможливо. Тому актуальним є створення такої моделі, яка дозволяє розрахувати собівартість метра проходки через параметри режиму буріння.

Залежність B_c від осьового зусилля P та швидкості обертання долота n досліджувались багатьма авторами. Пізніше авторами роботи [24] були проаналізовані ці співвідношення та показано, що отриманий вираз для визначення собівартості метра проходки глибокої свердловини, не відповідає реальним співвідношенням між показниками процесу буріння та параметрами його режиму.

У [50] для визначення собівартості одного метра проходки подається формула:

$$B = \frac{[t_{прог}(P, n, Q) + t_a] B_0 \cdot \Theta(P, n, Q)}{v_0(P, n, Q) \left[1 - e^{-\Theta(P, n, Q)t_{прог}(P, n, Q)}\right]}, \quad (2.33)$$

де Θ - параметр математичної моделі $v_t = v_0 e^{-\Theta t}$;

$t_g = t_{p0} + \frac{B_d}{B_0}$ - умовний час в рейсі долота, год.;

t_{p0} - час додаткових робіт в рейсі долота, год.;

$t_{прог} = \frac{h_{прог}}{v_{сеп}}$ - прогнозний час буріння, год.

Для того, щоб визначити параметри рівняння (2.33) автори рекомендують провести 5 експериментів під час буріння і потім їх результати використати для визначення нового оптимального сполучення параметрів режиму буріння. Після цього пропонується розрахувати вартість одного метра проходки свердловини B_c . Таку формулу не можливо використовувати для оперативного розрахунку при оцінюванні витрат на буріння.

Тому скористаємось математичною моделлю процесу буріння з контрольованими параметрами, яка розроблена для буріння нафтових і газових свердловин роторним способом:

$$\begin{aligned}\frac{dh}{dt} &= v_0 (\bar{u}, \bar{A}_1) \varepsilon^{-1}, \\ \frac{d\varepsilon}{dt} &= k_\varepsilon (\bar{u}, \bar{A}_2), \\ \frac{d\vartheta}{dt} &= k_\vartheta (\bar{u}, \bar{A}_3),\end{aligned}\tag{2.34}$$

з граничними умовами

$$h(0) = 0; \vartheta(0) = 0; \varepsilon(0) = 1 \text{ при } t = 0;$$

$$h(t_g) \geq 0; 1 \leq \varepsilon(t_g) \leq (1+m)^2;$$

$$0 \leq \vartheta(t_g) \leq 1 \text{ при } t = t_g$$

та обмеженнями (2.16),

де v_0 - початкова механічна швидкість проходки, м/год;

$\bar{u} = \{P, n, Q\}$ - вектор параметрів режиму буріння;

$\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3$ - вектори властивостей системи “долото – порода”;

ε - оцінка відносного зносу оснащення долота;

k_ε - швидкість зміни оцінки відносного зносу оснащення долота;

∂ - знос опор долота;

k_D - швидкість зносу опор долота;

m - коефіцієнт, що визначається геометрією зубців і формою зносу долота.

При виграті бурового розчину $Q=const$ рівняння 2.34) мають вигляд:

$$\begin{aligned} v_0(\bar{u}, \bar{A}_1) &= \kappa_1 P^{\alpha_1} n^{\beta_1}, \\ \kappa_\varepsilon(\bar{u}, \bar{A}_2) &= \kappa_2 P^{\alpha_2} n^{\beta_2} \\ \kappa_D(\bar{u}, \bar{A}_3) &= \kappa_3 P^{\alpha_3} n^{\beta_3}. \end{aligned} \quad (2.35)$$

Параметри моделі $\bar{A}_1 = [k_1, \alpha_1, \beta_1]$, $\bar{A}_2 = [k_2, \alpha_2, \beta_2]$, $\bar{A}_3 = [k_3, \alpha_3, \beta_3]$ підлягають ідентифікації для конкретних умов буріння.

Оскільки у процесі буріння параметри режиму підтримуються постійними, тобто $P=const$ і $n=const$, то з перших двох рівнянь (2.34) отримали вираз для проходки на долото за один рейс:

$$h_p = \ln\left(1 + \kappa_2 P^{\alpha_2} n^{\beta_2} t_B\right) \kappa P^\alpha n^\beta, \quad (2.36)$$

де $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$; $\beta = \beta_1 - \beta_2$; $k = \frac{k_1}{k_2}$.

З другого рівняння (2.34) визначили прогнозу тривалість буріння $t_{B_{ос}}$ для випадку, коли знос озброєння випереджає знос опор долота:

$$t_{B_{03}} = \left(k_2 P^{\alpha_2} n^{\beta_2} \right)^{-1} \left[(1+m)^2 - 1 \right], \quad (2.37)$$

де m – коефіцієнт, що залежить від конструктивних параметрів долота.

З останнього рівняння системи рівнянь (2.34) визначили прогнозну тривалість буріння $t_{B_{01}}$, коли знос опор випереджає знос озброєння долота:

$$t_{B_{01}} = \left(k_3 P^{\alpha_3} n^{\beta_3} \right)^{-1} \quad (2.38)$$

Підставляючи (2.36), (2.37), (2.38) у вираз (2.7), отримуємо рівняння для розрахунку собівартості метра проходки свердловини, коли знос опор випереджає знос озброєння долота

$$B_{on} = [B_0 + B(k_3 P^{\alpha_3} n^{\beta_3})^{-1} c n t_{cn} + B_0] [k P^{\alpha} n^{\beta} \ln(k_0 P^{\alpha_0} n^{\beta_0} + 1)]^{-1} \quad (2.39)$$

і для випадку, коли знос озброєння випереджує знос опор долота

$$B_{030} = [B_0 (1+m)^2 (k_2 P^{\alpha_2} n^{\beta_2})^{-1} + B c n t_{cn} + B_0] [2k P^{\alpha} n^{\beta} \ln(1+m)]^{-1} \quad (2.40)$$

де $k_0 = k_2 \cdot k_3^{-1}$; $\alpha_0 = \alpha_2 - \alpha_3$; $\beta_0 = \beta_2 - \beta_3$.

Особливістю (2.39), (2.40) є те, що вони можуть бути використані для розрахунків B_{on} і B_{030} у реальному часі. Вхідними даними для розрахунків B_{on} і B_{030} і є значення коефіцієнтів k_1, α_1, β_1 ; k_2, α_2, β_2 ; k_3, α_3, β_3 , які можна отримати в результаті розв'язку задачі ідентифікації параметрів моделі, а також маючи вартість долота B_0 і час t_{cn} .

З літературних джерел [25] відомо, що параметри $\alpha_1, i \beta_1$ першого рівняння математичної моделі (2.34), (2.35) залежать від властивостей гірських порід та змінюються у таких межах: $\alpha_1 = 0,6 \div 1,0$; $\beta_1 = 0,4 \div 0,8$.

Наприклад, для $\alpha_1 = 0,6$; $\beta_1 = 0,4$; $k_1 = 0,35$;
 $P = 50 \div 400 \text{кН}$; $n = 0,25 \div 5 \text{с}^{-1}$ графік залежності
 $v_0(\bar{U}, \bar{A}) = k_1 P^{\alpha_1} n^{\beta_1}$, побудований у тривимірному просторі,
має вигляд, наведений на рис.2.4.

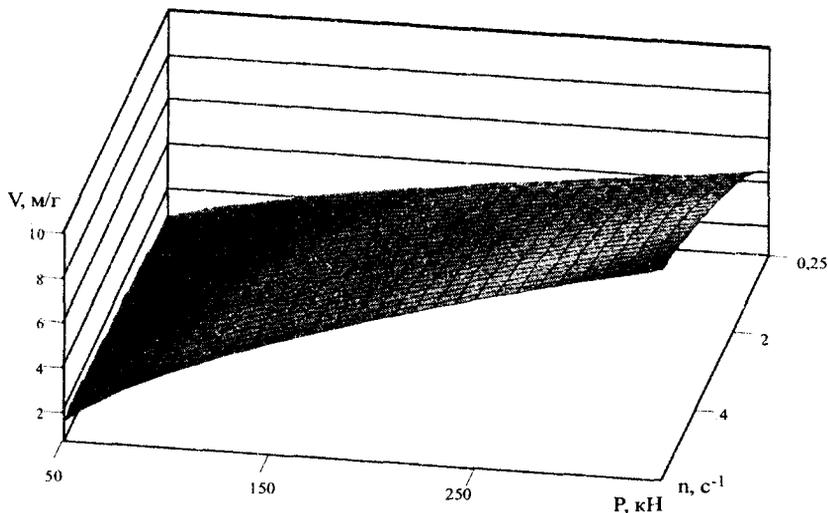


Рис. 2.4 Графік залежності $v_0(\bar{U}, \bar{A})$ у тривимірному просторі

Аналогічний вигляд мають графіки, побудовані для другого і третього рівня моделі (2.35), (2.36). Ідентифікація параметрів моделі (2.35) була здійснена при таких початкових даних: тип долота III 190,5СГВ-2; глибина свердловини 4118 м; вартість години роботи бурової установки 820грн/год; тривалість спуско-піднімальних операцій $t_{cn} = 10,3 \text{ год}$; вартість долота 1277 грн; тривалість буріння в попередньому рейсі $t = 10 \text{ год}$; осьове навантаження на долото 190 кН; швидкість обертання ротора $0,75 \text{ с}^{-1}$; початкова швидкість проходки $v_0^{(1)} = 2,78 \text{ м/год}$, $v_0^{(2)} = 3,08 \text{ м/год}$, $v_0^{(3)} = 4,28 \text{ м/год}$, $v_0^{(4)} = 4,28 \text{ м/год}$; швидкість зміни оцінки відносного зносу оснащення долота $k_\epsilon^{(1)} = 0,14 \text{ 1/год}$, $k_\epsilon^{(2)} = 0,075 \text{ 1/год}$, $k_\epsilon^{(3)} = 0,19 \text{ 1/год}$, $k_\epsilon^{(4)} = 0,12 \text{ 1/год}$.

Отримані значення параметрів моделі (2.35) були використані для розрахунків коефіцієнтів рівнянь (2.41). Для дослідження залежності (2.41) собівартості одного метра проходки свердловини при випереджаючому зносі опор долота від осьового зусилля P і швидкості обертання n долота були побудовані графіки $B_c(P, n)$ у тривимірному просторі за допомогою програмного продукту MathCad 7.0. На рис. 2.5 зображений графік $B_c(P, n)$, побудований за рівнянням

$$B(P, n) = \frac{1500}{0,1P^{0,4}n^{0,25} + 2950} + 2950 \quad (2.41)$$

$$B_c(P, n) = \frac{1500}{P^{0,05}n^{0,1} \ln(P^{0,15}n^{0,15} + 1)}$$

Аналогічний графік $B_c(P, n)$ був отриманий і для інших значень коефіцієнтів α і β рівняння (2.40).

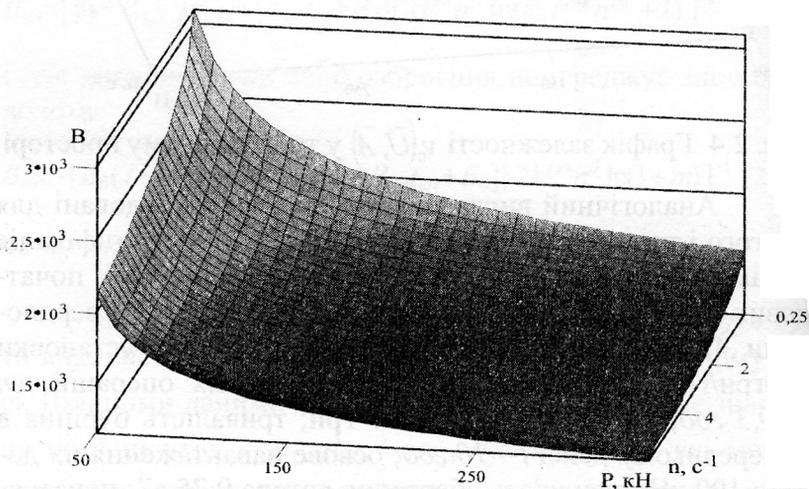


Рис.2.5 Графік залежності $B_c(P, n)$ у тривимірному просторі

Спільним для всіх графіків $B_c(P, n)$ є те, що вони не мають екстремуму, тобто мінімуму собівартості одного

метра проходки свердловини у цьому діапазоні зміни параметрів режиму буріння.

Це підтверджує висновок про те, що цільова функція мети (2.40) немає екстремуму. Тому мова може йти тільки про точну нижню межу (інфінімум) функції $B_c(P)$, тобто

$$B_c(P) \rightarrow \inf. \quad (2.42)$$

Рівняння (2.40) і (2.41) дають змогу визначити собівартість одного метра проходки у реальному часі. Крім того, цю інформацію можна використовувати для планування собівартості буріння свердловини.

Застосування критерію оптимальності вимагає розрахунку планових значень часу буріння свердловини T та її глибини H . Отже, задача оптимізації для критерію собівартості буріння свердловини набуває вигляду

$$C(x) \rightarrow \min: \{C(x) \mid H=\text{const}, T=\text{const}\}, \quad (2.43)$$

$$x \in S$$

де $C(x)$ -- скалярна функція;

S - множина допустимих значень векторів X , що задовольняють всі задані умови.

Сформульовані базові та оперативні цілі буріння свердловини, а також моделі (2.39), (2.40), які дають змогу визначати собівартість метра проходки у реальному часі, дають можливість організувати оперативне оцінювання витрат на буріння.

Для того, щоб кожний елемент системи отримав мету, яка узгоджена з базовою метою всієї системи "будівництво свердловини", побудуємо так зване "дерево цілей" (рис.2.6).

З рис. 2.6 видно, що система "буріння свердловини" є основною у системі "будівництво свердловини" і тому ключовою проблемою забезпечення мінімуму собівартості будівництва свердловини $\min : B_B$ є забезпечення мінімуму собівартості буріння ($\min : B_c$).

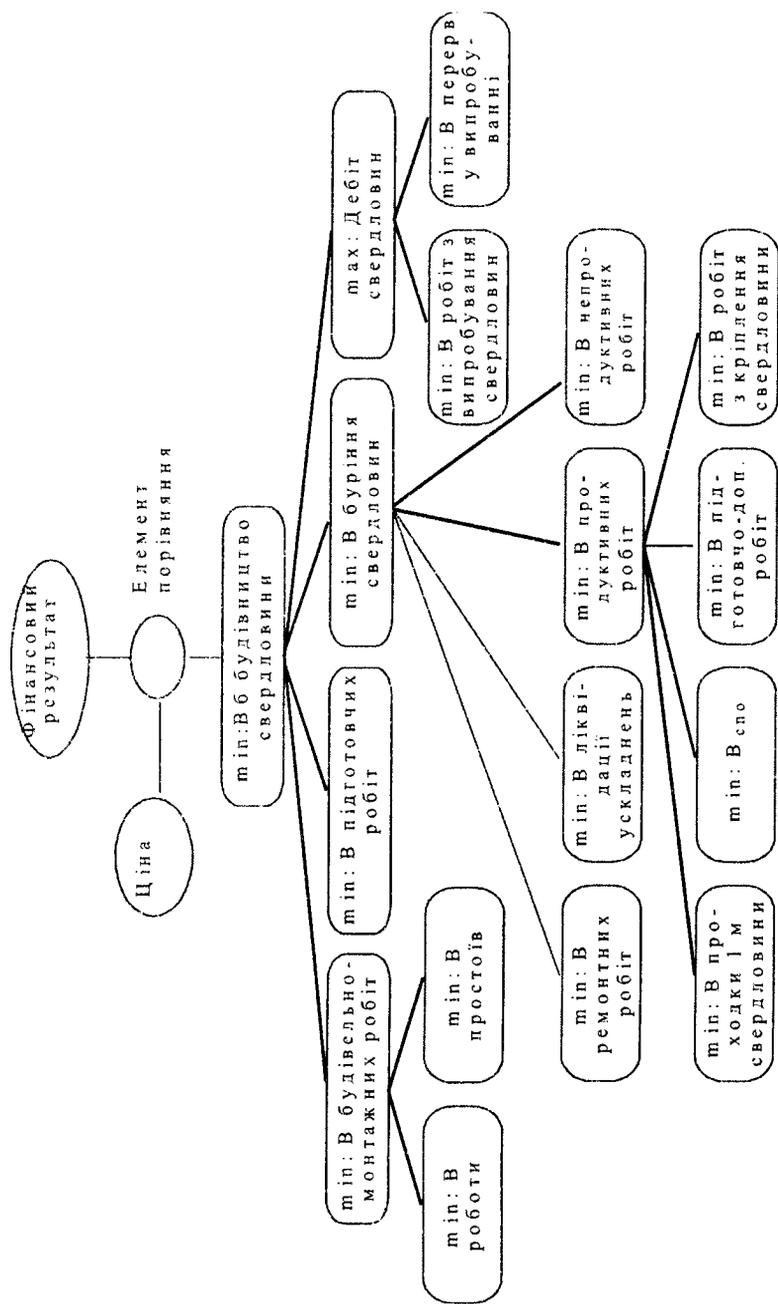


Рис.2.6 Дерево цілей буріння свердловин на нафту і газ у системі "Будівництво свердловини"

Це суттєво впливає на функціонування системи, підвищення її показників, і охоплює технологічну, управлінську та організаційну діяльність підприємства.

Важливими змінними, що описують ключову проблему, є: прибуток, собівартість буріння свердловини, собівартість метра проходки свердловини, вартість години роботи бурової установки B_0 , час спуско-піднімальних операцій $t_{сно}$, час допоміжних робіт t_d , проходка на долото h , вартість долота B_d , осьове навантаження на долото P , швидкість обертання долота n , витрата бурового розчину Q . Такий проблемно-орієнтований розгляд системи буріння свердловини дозволяє зменшити кількість змінних у складній системі та спростити її.

Для спрощення опису системи “буріння свердловини” і вибору способів оцінювання витрат її необхідно поділити на підсистеми, і розробити модель оцінювання.

В умовах ринкової економіки істотно збільшуються вимоги до моделі оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ.

Основним напрямком розв’язку задачі розробки моделі оцінювання витрат є розширення сфери використання науки управління шляхом створення автоматизованих систем оцінювання нового покоління, які орієнтуються на новітні методи господарського управління на стратегічному, тактичному та виконавчому рівнях. Спільна автоматизація виробничої діяльності і технологічних процесів в бурінні може бути досягнута у процесі об’єднання всіх функцій управління бурінням свердловини шляхом створення інтегрованої виробничої системи управління (ІВС). Автоматизувати всі функції управління при бурінні свердловини неможливо, оскільки ІВС є відкритою системою, удосконалення якої іде одночасно зі змінами і розвитком процесу буріння свердловини. Тому основна увага приділяється розв’язку ключової проблеми – оперативного оцінювання витрат на буріння свердловини.

Реалізація ІВС вимагає великих фінансових і людських ресурсів. На розробку невеликої системи, яка використовує 50 - 350 правил витрачається 40 ÷ 60 тис. доларів при трудомісткості 0,25 ÷ 0,5 року.

Процес створення ІВС визначається рядом факторів що пов'язані зі складністю об'єкта. Першорядним завданням для створення ІВС є залучення принципово нових знань з технології буріння і технології обробки інформації, прикладної математики, кібернетики. Серед систем знань пропонується використовувати експертні системи (ЕС), які набувають поширення у галузях знань, що важко формалізуються: планування, управління, проектування, діагностування та навчання тощо.

Актуальність розробки ЕС для оцінювання витрат на буріння свердловини визначається багатьма причинами, головними з яких є такі, що пов'язані із зовнішньою інтелектуалізацією ЕОМ. Інтелектуальний інтерфейс стрімко підвищує ефективність автоматизованої системи планування, оперативного управління, технологічної підготовки буріння свердловини, тому що він інтенсифікує роботу кінцевого користувача. Спеціалісти мають можливість:

- здійснювати зі свого робочого місця пошук у базах даних (БД) або знань (БЗ) необхідної документальної та фактографічної інформації з доступом до бібліотечних мереж і мереж розподілених БД;
- розв'язувати проектні, планові й управлінські задачі за їх постановкою і вихідними даними незалежно від складності математичних моделей цих задач і контролювати в діалоговому режимі всі стадії обчислювального процесу;
- використовувати накопичені ЕОМ знання щодо буріння свердловини, здійснювати розпізнавання та діагностику процесів у підсистемах, приймати рішення, формувати плани дій, висувати та перевіряти гіпотези, ви-

являти закономірності у результатах спостережень, робити логічний висновок.

Перша можливість реалізується інтелектуальними пошуковими системами, друга – інтелектуальними пакетами прикладних програм і розрахунково-логічними системами, третя – ЕС [27].

Використання ЕС при створенні інтелектуальних автоматизованих систем оцінювання витрат на буріння свердловини дає можливість використовувати накопичені у галузі буріння свердловин знання, кількісні дані та факти, але як кожна ЕС, вона має певні протиріччя [28-31]:

- бажання забезпечити буріння з мінімальною собівартістю метра проходки протягом тривалого часу одним долотом, що веде в решті до катастрофічного зношення долота і як наслідок, викликає аварію. Як результат – непродуктивні витрати часу і збільшення витрат на буріння;
- оскільки при збільшенні величини параметрів режиму буріння (P і n) зменшується собівартість метра проходки, то виникає бажання підтримувати осьове навантаження на долото і швидкість його обертання на максимально припустимих рівнях, що веде до руйнування обладнання і до непродуктивних витрат часу на ліквідацію аварій;
- при невдалих рішеннях користувачі ЕС намагаються перекласти відповідальність з себе на ЕС як на невдалого електронного порадника;
- користуючись допомогою і порадами ЕС, користувачі знижують свою активність в самостійному отриманні нових знань;
- без матеріального заохочення і гарантії авторських прав експерти не зацікавлені віддавати свої знання для загального користування;

- розроблені ЕС не завжди можуть вірогідно передбачити поведінку у нештатних ситуаціях, якими є аварії та ускладнення при бурінні свердловини, внаслідок чого поради можуть стати некорисними;
- ЕС у деякій мірі знецінюють інтелектуальні здібності людей та працю, що витрачається на отримання нових знань.

Тому основною задачею розробки ЕС, враховуючи, що ця система повинна забезпечити створення і використання за допомогою комп'ютерів баз знань (БЗ) експертів, є представлення знань щодо буріння свердловини у такому вигляді, щоб користувач був впевненим у результаті, який отримує. При цьому треба враховувати, що ЕС призначена насамперед для розв'язання задач, які зв'язані із логічними висновками. Останні базуються на розробках даних, що представляються у символічній формі, а не у вигляді складних обчислень, що виконувались на ЕОМ при розв'язку стандартних задач, які представлені у цифровій формі.

Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що ІВС управління витратами на буріння свердловини повинна забезпечувати:

- планування зверху донизу і визначення головних факторів, що впливають на успішне буріння свердловини;
- облік при плануванні вимог комерційного розрахунку та самофінансування процесу спорудження свердловини, отримання прибутку та ринку збуту;
- інформаційні зв'язки між елементами підприємства та об'єднання їх у спільну систему;
- колективний підхід до розв'язку усіх функцій ІВС при бурінні свердловин, що забезпечує єдиний результат – реальний прибуток;
- пріоритетність автоматизованих функцій оперативного оцінювання витрат і управління ними.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВИТРАТ

У розділі доведено, що для ефективного функціонування складного об'єкта яким є буріння свердловин, необхідно мати сучасну систему оперативного оцінювання витрат з багаторівневою ієрархічною структурою та розвинутими інтелектуальними можливостями, які дають змогу вирішувати задачі аналізу ситуацій та регулювання витрат, а також формування стратегії функціонування, планування послідовності керуючих впливів та синтез виконавчих законів.

Запропоновані методологічні засади побудови ієрархічної системи та механізму оперативного оцінювання витрат на буріння свердловин, яка базується на принципах розподілених систем керування та інтелектуалізації управління складними системами. Для ієрархії рівнів оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ створена інформаційна модель у відповідності із міжнародним стандартом IDEFIX. Система оперативного оцінювання витрат відображає сукупність організаційно-економічних заходів, які формують умови і порядок дій елементів системи оцінювання витрат бурового підприємства, а саме:

- поточний контроль собівартості метра проходки,
- прогнозування собівартості буріння свердловин,
- регулювання витрат підприємства на буріння.

Побудована модель оцінювання витрат на буріння свердловин на засадах нечіткої логіки та прикладних аспектах її реалізації. Для реалізації запропонованого механізму оперативного оцінювання витрат розроблено метод прогнозування собівартості буріння свердловин, що базується на моделі Брауна, та структура системи спостереження за собівартістю буріння, доповнена адаптуючою моделлю, що базується на засадах нечіткої логіки.

Розроблена процедура та алгоритм прогнозування собівартості буріння свердловини.

3.1 Методологічні основи формування інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат

У розвитку систем оцінювання витрат на буріння свердловин на нафту і газ спостерігається тенденція до їх інтелектуалізації [40,41].

Побудова інтелектуальних систем на базі традиційних програмно-апаратних засобів стає все більш проблематичною через розширення діапазону задач, що розв'язуються, та необхідністю забезпечення високого рівня адаптації систем оцінювання до зміни умов їх функціонування та до специфіки процесу буріння.

Проблема ефективного оперативного оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ має важливе наукове та практичне значення, оскільки її розв'язок дозволяє отримувати вірогідну інформацію щодо поточного значення собівартості метра проходки, прогнозувати витрати на буріння на декілька кроків вперед і формувати ефективні керуючі впливи, що забезпечує зменшення собівартості будівництва свердловини.

Протягом останніх 15 років у практиці оцінювання спостерігається активне впровадження експертних систем, застосування яких у бурінні є логічним, через те, що процес буріння є випадковим, нестаціонарним та розвивається у часі.

На рис. 3.1. надана запропонована авторами структура трьохрівневої інтелектуальної системи оперативного оцінювання витрат на буріння свердловини.

На стратегічному рівні розв'язуються задачі проектування буріння свердловини, визначається мета та критерії управління. Виходом верхнього рівня оцінювання є програми на буріння свердловини, мета контролю, управління та оцінювання для нижніх рівнів.

Стратегічний рівень системи оцінювання витрат функціонує при безпосередній участі технолога та реалізується на основі експертної системи, яка містить базу знань, підсистему навчання, підсистему пояснення, механізм логічного виведення, графічний інтерфейс користувача, інте-

рфейс вводу даних, модуль моделювання управління, за допомогою якого здійснюється вибір алгоритмів у відповідності до рішень, які прийняті експертною системою. Експертна система використовується також на двох нижніх рівнях.

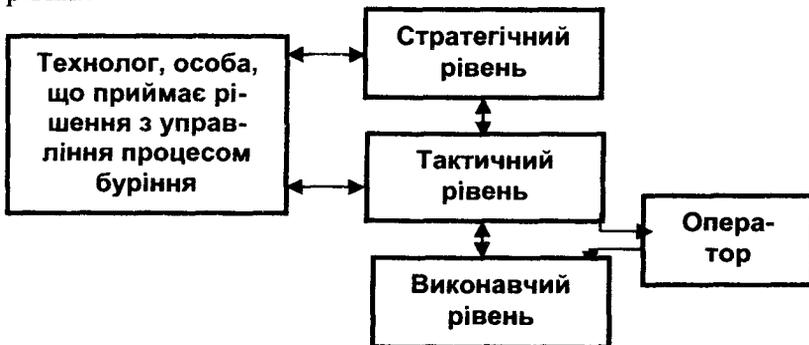


Рис. 3.1 Структура трьохрівневої системи оперативного оцінювання витрат на буріння нафтових і газових свердловин

На тактичному рівні приймаються рішення щодо вибору способів оцінювання витрат, розрахунку програми корекції управління. Розв'язуються задачі управління технологічним процесом.

На виконавчому рівні використовується база даних експертної системи для оцінювання витрат на процес буріння на основі правил нечіткої логіки. На даному рівні системи оцінювання витрат розв'язуються також задачі регулюючого управління. Вони полягають у формуванні поточних керуючих впливів (осьове навантаження, швидкість обертання) для системи керування процесом буріння, виходячи з поточної програми оперативного оцінювання витрат, що сформульована на другому рівні.

Дослідження показують, що систему керування нижнього рівня доцільно будувати на базі нечіткої логіки. Цей підхід дозволяє залучати знання експертів. Такі знання подаються за допомогою лінгвістичних змінних у вигляді

ЯКЩО (умова) ТО (дія) замість звичайних чисельних. Вказаний перехід називають фаззифікацією і здійснюється він згідно лінгвістичних правил-продукцій, що задаються експертами. Правила управління реалізуються блоком механізму виведення. Потім блок дефаззифікації здійснює зворотній перехід від лінгвістичних змінних до чисельних.

Використання нових підходів до побудови системи оперативного оцінювання витрат на буріння свердловини на нафту і газ на основі використання методів нечіткої логіки, імовірнісного прогнозування та теорії експертних систем дозволяє підвищити точність оперативного керування, зменшити витрати на формування керуючих впливів і на процес буріння свердловини.

Розроблена структура системи оперативного оцінювання витрат базується на серійному комплексі технічних засобів, що дозволяє забезпечити розв'язок сформульованих задач.

У системах оцінювання витрат на процес буріння збір інформації здійснюється технічними засобами, а на управлінський персонал покладаються задачі їх узагальнення, осмислення і, головне, оптимізація роботи об'єкта. Процес пошуку раціональних режимів у таких системах носить суб'єктивно-інтуїтивний характер та здійснюється методом "проб і помилок", що часто призводить до значних матеріальних витрат. Реалізація керуючих впливів здійснюється технічним персоналом, тому результати функціонування об'єкта з такою системою оцінювання витрат залежать від особистих якостей управлінського персоналу. Якість управління погіршується по мірі збільшення обсягу інформації.

Тому, важливим є створення інтегрованої автоматизованої системи оцінювання витрат на буріння свердловини [37]. Ядром цієї системи є оперативне управління технологічним процесом, і головною складовою – витрати на буріння свердловини. Обґрунтування такого підходу подається у деяких статтях та монографіях [34,35].

Виходячи з цього, а також користуючись функціональною структурою системи управління технологічним процесом, функціональну структуру інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат на буріння свердловини можна представити у вигляді наступних основних блоків (рис.3.2). На відміну від відомої структури, вона доповнена каналом передачі інформації про множину станів реалізованих керуючих впливів U на буровій установці (БУ).

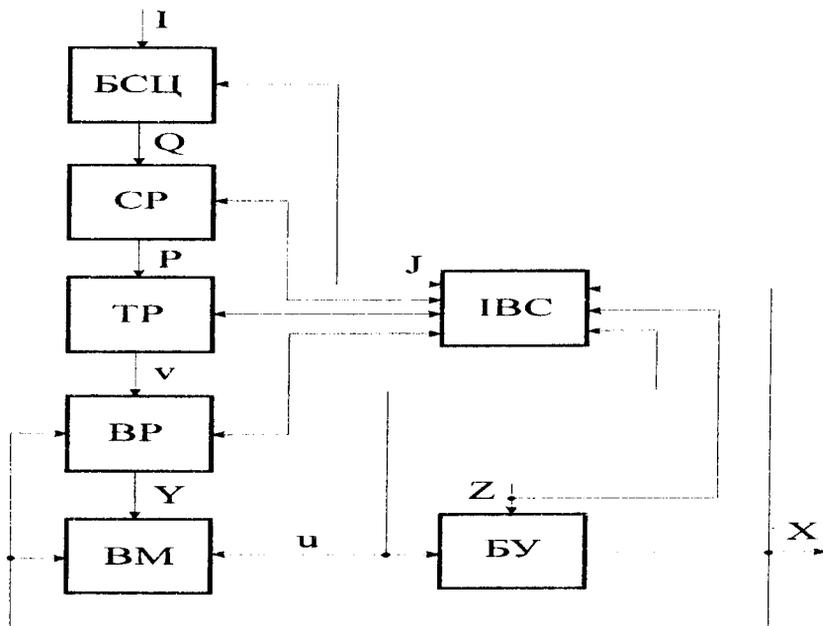


Рис.3.2 Функціональна структура інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат на буріння свердловини

На рис.3.2. прийняті такі позначення:

I – множина станів, глобальних цілей і критеріїв технології і виробництва;

Q – множина станів локальних цілей управління;

P – множина режимів функціонування бурової установки (БУ);

v – множина видів керуючих впливів на БУ;
 Y – множина станів команд управління;
 U – множина станів реалізованих керуючих впливів на БУ;
 X – множина станів БУ;
 Z – множина станів навколишнього середовища;
 J – множина станів інформації про БУ та навколишнє середовище;
БСЦ – блок синтезу цілі;
СР – стратегічний рівень;
ТР – тактичний рівень;
ВР – виконавчий рівень;
ВМ – виконавчий механізм;
ІВС – інформаційно-вимірювальна система.

У блоці синтезу цілі здійснюється аналіз та розпізнавання поточних ситуацій. Виходячи з результатів, визначається ціль подальшого управління БУ. Ефективність управління суттєво залежить від того, як вірно визначені локальні цілі та критерії управління. Вирішення задачі синтезу цілі потребує отримання інформації про навколишнє середовище, а також ефективної ідентифікації власного стану БУ та самої системи управління.

Замикання контурів управління різних рівнів забезпечується інформаційно-вимірювальними системами (ІВС). До ІВС віднесені стаціонарні та нестаціонарні прилади та системи для вимірювання параметрів буріння, засоби періодичних досліджень свердловини (геофізичних, гідродинамічних та ін.) та лабораторних досліджень проб.

Основною задачею ІВС є забезпечення потрібного ступеня адекватності отриманої інформації цілям функціонування, а також вірогідності відображення як зовнішнього середовища, так і внутрішнього стану бурової установки. При недостатньому обсязі та незадовільній якості інформації знижується ефективність всіх рівнів управління.

Реалізація оптимальних технологічних режимів буріння класичними засобами та законами регулювання не-

можлива, особливо в умовах початкової невизначеності, коли апріорна інформація процесу буріння та зовнішні впливи зовсім невідомі, а можливості отримання інформації експериментальним шляхом обмежені.

У зв'язку з цим, реальна ситуація при бурінні свердловини потребує сучасних підходів до створення систем оцінювання витрат на буріння, тобто створення інтелектуальних, адаптивних, навчаючих та самонавчаючих систем. У цих системах апріорну невизначеність можна подолати на основі інформації про поточний стан процесу, а оцінювання здійснювати при послідовних змінах режимів роботи БУ та проведення спеціальних технологічних операцій. Результати впливів на БУ порівнюються з прогнозними і, якщо є невідповідність, приймається рішення, виробляється і реалізується управління, яке усуває цю невідповідність. Якщо досягнення відповідності неможливе, то уточнюється і корегується ціль. Таким чином, пропонується використання прямих зв'язків експериментів з самої БУ з її оптимізаційними моделями.

Практична реалізація та промислове впровадження вказаних вище систем на основі класичної теорії управління та традиційних засобів АСКТП значно обмежені тим, що відсутні математичні моделі, адекватні вимогам оперативного оцінювання, існують труднощі, пов'язані з розробкою алгоритмів оцінювання у слабоформалізованих ситуаціях та складністю програмно-технічної реалізації їх у реальному часі.

Тому основною тенденцією у розробці систем оцінювання витрат є створення нових видів зворотніх зв'язків, які реалізуються за допомогою інтелектуальних блоків, що використовують накопичені знання.

Розробка інтелектуальних блоків окремих рівнів оцінювання витрат повинна базуватися на експертних та глибинних знаннях процесів у бурінні та його зовнішнього середовища, на повному використанні можливостей проблемно-орієнтованих експертних систем реального часу, нечітких алгоритмів, фаззи логіки тощо.

Для побудови таких систем необхідно вирішити питання: провести синтез архітектури системи, визначити обсяг виконуваних інтелектуальних функцій на кожному рівні управління, сформувати відповідні бази даних і знань, розробити математичні та імітаційні моделі.

Основні труднощі виникають внаслідок наявності взаємних впливів між підсистемами. Для подолання їх необхідне використання інформації, яку можна отримати на основі структурного аналізу системи оцінювання витрат на процес буріння свердловини на нафту і газ.

Для визначення можливостей використання “ковзаючого планування” собівартості буріння окремої свердловини економічні елементи об’єднують у відповідності з етапами її будівництва. Вони містять витрати на:

- підготовчі роботи до будівництва свердловини;
- будівельно-монтажні роботи, будівництво вежі та монтаж обладнання;
- випробування свердловини на приплив;
- промислово-геофізичні роботи;
- інші роботи, що пов’язані з будівництвом свердловини.

Аналіз балансу фактичного календарного часу з метою правильного планування бурових робіт, показав, що близько 60% часу припадає на буріння свердловини і до 28% календарного часу витрачається непродуктивно [12]. Це підтверджує проведений нами аналіз балансу фактичного календарного часу на чотирьох бурових: 23-Монастирчани, 174-Рибальська, 417-Бугруват, 430-Бугруват ВАТ “Укрнафта”. Він показує, що 88,9% фактичного календарного часу становить продуктивний час і 11,1% витрачається непродуктивно.

При цьому були досягнуті такі техніко-економічні показники (табл.3.1)

Таблиця 3.1

Основні техніко-економічні показники

Показники	План	Факт
1 Проходка, всього по ВАТ "Укрнафта", м в т.ч.: св.23-Монастирчани св.174-Рибальська св.417-Бугруват св.430-Бугруват		14933 3938 3710 3650 3635
2 Середня механічна швидкість проходки, м/год		1,86
3 Комерційна швидкість буріння, всього м/верст-міс.	377	420
- експлуатація	443	490
- розвідка	100	124
3 Кошторисна вартість 1м, всього, грн/м	927,5	780,5
- експлуатація	739,9	726,4
- розвідка	3428,6	1683,7
4 Середньоспискова чисельність, осіб буріння, всього	533	524
в т.ч. робітників	422	413
5 Витрати на матеріали на буріння, т.грн	2504,6	2728,8
6 Витрати на експлуатацію бурового об- ладнання, тис. грн.	2666,9	2741,5
в т.ч: -на утримання бурового обладнання	698,9	675,6
- прокат доліт	571,6	631,4
- прокат бурильних труб	164,9	42,7
- прокат турбобурів	4,5	4,4
- знос бурильних труб	195,0	197,9
- транспортні витрати	509,6	619,3
- енергетичні витрати	517,4	570,2
7 Амортизація, тис.грн.	115,9	51,7
8 Продуктивність праці		
- на 1 працюючого, м/люд	23	26
- на 1 робітника, м/люд	33	37

Практика розробки календарних планів в управлінні витратами на буріння свердловин обумовила певну декомпозицію задач розподілу календарного плану виробництва, а саме – послідовну побудову планових завдань на певні інтервали часу, що постійно зменшуються: на рік, квартал, місяць і т. п. При цьому характер задач не залежить від рівня планування, а розмірність визначається характеристиками інформаційної моделі підприємства.

З метою підвищення стійкості планів до збурень у виробничому процесі та зменшення обсягу коригувань, викликаних постійним потоком повідомлень про зміну технічних умов, найбільш доцільним як з обчислювальної, так і з прикладної точок зору є використання “ковзаючого планування”. Застосування його в умовах буріння свердловини включає отримання інформації про поточне значення собівартості одного метра проходки свердловини.

Оскільки, найбільш прийнятним критерієм ефективності, тобто цільовою функцією, є мінімум собівартості метра проходки свердловини і ця цільова функція відображає результат технологічного процесу буріння у математичному вигляді, то вона повинна мати вираз через керуючі впливи (осьове зусилля на долото та швидкість його обертання) та один екстремум.

Залежність собівартості метра проходки глибокої свердловини від осьового зусилля P і частоти обертання долота n досліджувалась багатьма авторами, були проаналізовані співвідношення між цими параметрами, і показано, що вираз для V_c отриманий на підставі рівнянь, які не відповідають реальним співвідношенням між показниками процесу буріння та параметрами режиму буріння.

Тому скористаємося математичною моделлю (2.35), яка розглянута у розділі 2 і рівнянням (2.40) для розрахунку поточного значення V_c . Рівняння (2.40) та (2.41) дають можливість визначити собівартість одного метра проходки свердловини у реальному часі та використати цю інформацію для ковзаючого планування собівартості буріння свердловини.

Скориставшись (2.39), проведемо аналіз собівартос-

ті метра проходки свердловини на різних глибинах, різними долотами, на базі геолого-технічних умов Прикарпатського УБР ВАТ “Укрнафта”.

Почнемо з глибини 250 м, коли буріння здійснюється долотом 399,7 М-ЦГВ вартістю $B_d=6409$ грн. Припустимо, що вартість години роботи бурової установки дорівнює $B_o=820$ грн/год. Час спуско-піднімальних операцій $t_{cn}=0,2$ години. Тоді виграти, що не залежать від процесу механічного буріння, становитимуть

$$B_o \cdot t_{cn} + B_d = 820 \cdot 0,2 + 6409 = 6573 \text{ грн.}$$

Собівартість метра проходки B_c залежить від параметрів режиму P і n і ця залежність визначається рівнянням

$$B = \frac{\frac{820}{0,1 \cdot P^{0,4} \cdot n^{0,25}} + 6409}{1,15 \cdot P^{0,05} \cdot n^{0,1} \cdot \ln(P^{0,15} \cdot n^{0,15} + 1)}$$

Результати моделювання наведені на рис.3.3.

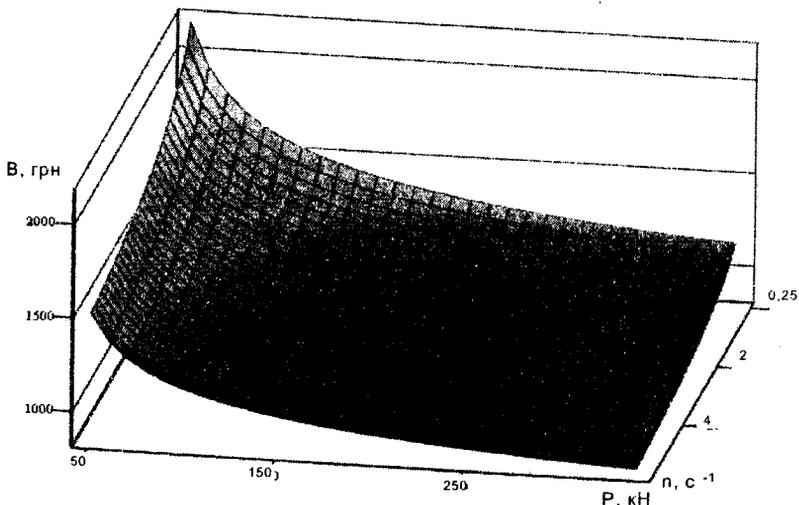


Рис.3.3 Графік залежності собівартості метра проходки свердловини від параметрів режиму P і n при бурінні долотом 399,7 М-ЦГВ

При розрахунках витрат, що не залежать від параметрів режиму буріння, отримано результати, з яких видно, що ці витрати збільшуються із збільшенням глибини свердловини, оскільки вартість доліт, що використовуються на великих глибинах зменшується, а витрати на спускопідіймальні операції зростають у межах від 40 до 800 ÷ 900 грн. Тобто, собівартість метра проходки свердловини зростає з глибиною.

Для реалізації ідеї ковзаючого планування розроблена інформаційна модель буріння свердловини, яка подана на рис.3.4.

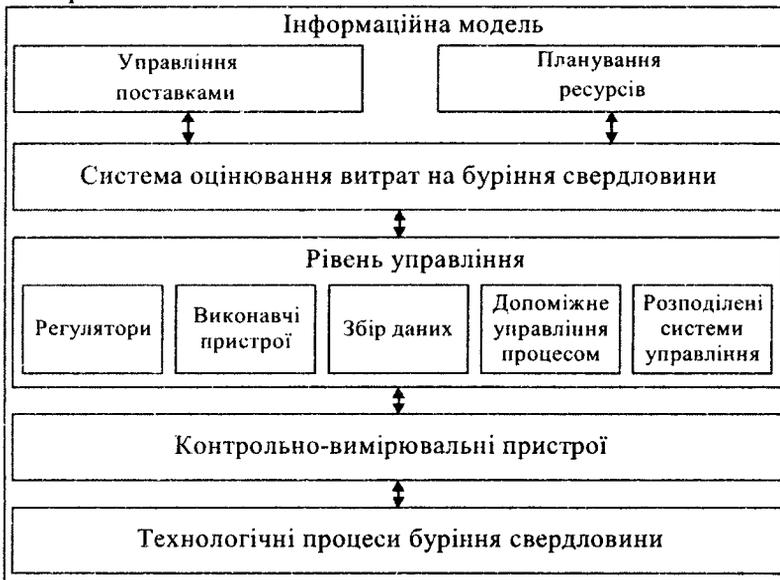


Рис. 3.4 Інформаційна модель буріння нафтових і газових свердловини

Розроблена структура інформаційної моделі буріння свердловини базується на використанні комп'ютерної техніки та сучасних технічних засобів.

Таким чином, своєчасна інформація, що отримується на кожному рівні буріння свердловини дозволяє оцінювати рівень витрат на буріння у реальному часі та одразу приймати заходи для коригування планування робіт.

На сучасному етапі розвитку системи управління та автоматизації стають реальним інструментом техніко-економічного аналізу і управління процесами та об'єктами у нафтовій та газовій промисловості.

Відомо, що становлення автоматизованих систем управління проходило у декілька етапів. Історично першими з'явилися автоматизовані системи управління виробництвом, що розв'язували задачі, які не вимагали обчислень у реальному часі: техніко-економічні розрахунки, облік та рух матеріальних цінностей тощо.

Потужність сучасних комп'ютерів дозволяє створити системи управління з обчисленнями у реальному часі. Підтвердженням цього є те, що у країнах Європейського Союзу прийняте Положення про обов'язкове забезпечення будь-яких виробничих процесів засобами операторського контролю та управління, що прискорило й без того бурхливий розвиток та застосування SCADA – систем (Supervising Control and Data Acquisition).

Бурові підприємства нафтогазового комплексу України ще не мають методології техніко-економічного управління бурінням свердловин. Традиційна ідеологія та системи управління у галузі не забезпечують контроль, аналіз та управління процесами, узгодження технологічних режимів. Автоматизовані системи управління різних рівнів розв'язують, головним чином, задачі обліку і звітності, не використовують потужні засоби оптимізації. Ефективність систем автоматизації і управління практично не зростає, роботи в цій галузі ведуться без залучення економістів, технологів та геологів.

На даний час розвиток системи управління буровим підприємством йде у двох напрямках: зверху донизу і низу догори.

На верхньому рівні управління буровим підприємством розвиток здійснюється зверху донизу шляхом створення організаційно-економічних систем, у яких розв'язуються комплекси задач планування, виробничого, бухгалтерського, геологічного, кадрового та іншого обліку та звітності. Аналіз ефективності виробництва проводиться ли-

ше за інтегральними показниками витрат та прибутків. Облік витрат здійснюється без розподілу по рівнях управління і виробничо-технологічній структурі виробництва. Інформація, що накопичується у базах даних, декларується як єдиний інформаційний простір для використання підрозділами апарату управління, у яких функціонують окремі автоматизовані робочі місця спеціалістів. Інформація, що формується за таким принципом, не об'єднана моделями та методами управління, а також техніко-економічними критеріями, як по горизонталі так і по вертикалі.

Знизу наверх розвиваються автоматизовані системи керування технологічними процесами, де розв'язуються задачі оперативного-диспетчерського контролю та керування окремими буровими установками і здійснюється контроль окремих показників та параметрів, що характеризують процес. Задачі техніко-економічного аналізу та управління у цьому напрямку не розв'язуються.

Розвиток систем управління зверху і знизу йде самостійно, їх взаємозв'язки забезпечуються лише на рівні сумісності показів програм, що є тільки програмно-технічною базою систем управління і не дає можливості створення вертикально-інтегрованих систем управління. Але головною проблемою залишається перехід до замкнених систем управління, що орієнтовані на техніко-економічну результативність управління виробництвом.

Контури замкненої системи управління дають можливість забезпечити контроль, аналіз та управління процесами у бурінні за їх результатами; вони охоплюють виробничо-технологічні та організаційно-економічні рівні як єдиний процес, пов'язаний з фінансовими та техніко-економічними результатами.

Розв'язок проблеми техніко-економічного управління бурінням [38,39] базується на структуризації та описі виробництва та витрат, побудові техніко-економічних моделей, методів управління та їх реалізації на базі сучасних інформаційних технологій, програмно-технічних засобів та систем. Він повинен забезпечити:

контроль, облік та звітність даних про витрати і показники процесу буріння;

- збалансоване та ефективне функціонування процесу буріння;
- техніко-економічний аналіз, визначення пріоритетів ефективності, планування та управління процесом буріння, заходами за критеріями збільшення прибутків і зменшення витрат;
- виконання планів та аналіз їх ефективності.

Побудована нами вертикально-інтегрована система управління являє собою комплексну організаційно-структурну та програмно-технічну систему, що забезпечує реалізацію функцій взаємопов'язаного та ефективного оперативного оцінювання витрат на буріння свердловини. Функціональна структура системи багаторівневого оперативного оцінювання витрат на буріння нафтових і газових свердловин наведена на рис.3.5.

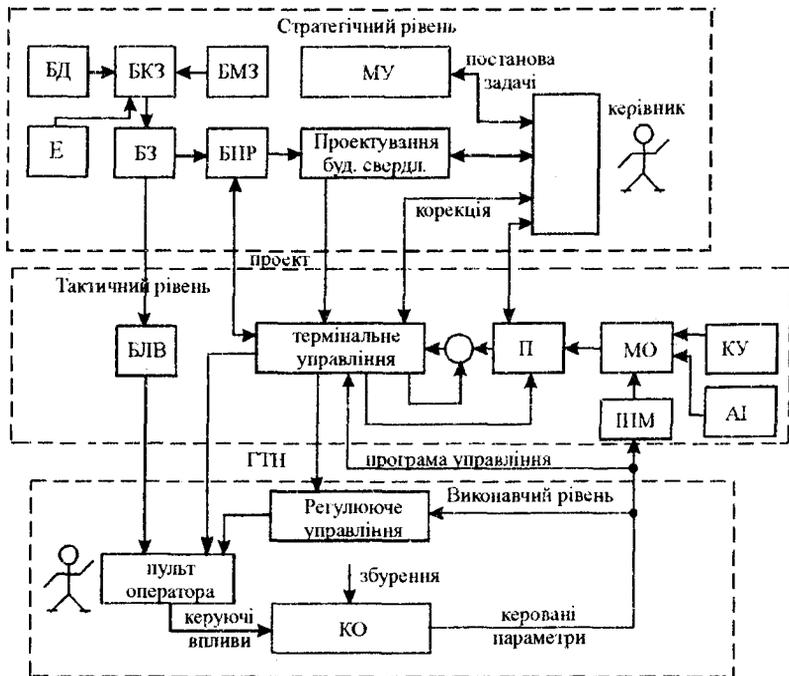


Рис. 3.5 Функціональна структура системи багаторівневого оперативного оцінювання витрат на буріння свердловин

На рис.3.5 прийняті такі позначення:

БД – база даних;
БКЗ – блок корекції знань;
БМЗ – блок мета знань;
Е – експерт; БЗ – база знань;
БЛВ – блок логічного виводу;
БПР – блок прийняття рішень;
МУ – мета управління;
АІ – апіорна інформація;
КУ – критерії управління;
МО – модель об'єкта;
П – прогноз;
КО – керований об'єкт;
ІПМ – ідентифікація параметрів моделі;
ГНТ – геолого-технічний наряд.

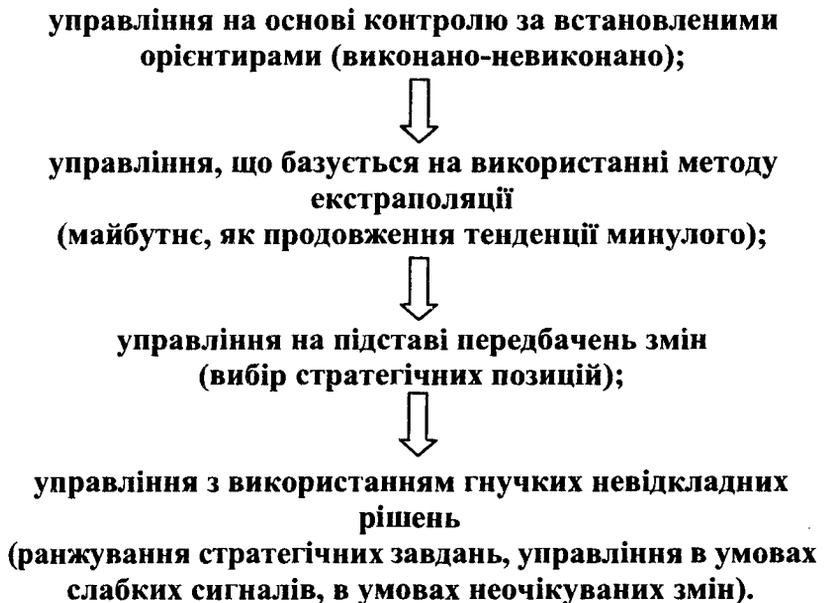
При побудові такої системи управління однією з центральних проблем є комплектування функціональних задач та підсистем. Рішення цієї задачі полягає у створенні інтегрованої бази системи організаційного управління. Для цього використовується інформаційно-логічна модель об'єкта управління, в якій проводиться узгодження описів об'єкта у різних задачах та підсистемах, і яка є центральним елементом архітектури інформаційної системи, що складає базу системи організації оцінювання витрат на буріння свердловини.

Використання інформаційної системи комплектування функціональних задач та підсистем дає можливість об'єкту управління отримати потужну архітектурну та технологічну підтримку. При цьому інформаційно-логічна модель розглядається на концептуальному рівні архітектури інформаційної системи; функціональні задачі – на зовнішньому рівні; вся інформаційна система в цілому забезпечує множинний доступ до відомостей про об'єкт управління, що зберігаються в інтегрованій інформаційній базі.

3.2 Нечітка модель оперативного оцінювання витрат та прикладні аспекти її реалізації

Існуючі структура та моделі оцінювання витрат на буріння свердловини не дають змоги здійснювати оперативне оцінювання витрат, враховувати неповноту інформації, а також лінгвістичну невизначеність керуючих рішень, що приймаються оперативно-диспетчерським персоналом. Отже, виникає необхідність у розробці та представленні для використання оперативно-диспетчерським персоналом засобів аналізу ситуації з метою прийняття ефективних керуючих рішень.

Еволюцію управлінських моделей та систем можна простежити за такою схемою:



Динаміка та невизначеність процесу буріння свердловини на нафту і газ роблять проблему моделювання оперативного оцінювання витрат достатньо складною. Для ефективного розв'язання її пропонується здійснити “інте-

лектуалізацію” існуючої системи управління шляхом розробки та реалізації експертної системи (ЕС) для підтримки рішень, що приймаються .

Дослідження в області штучного інтелекту показують, що все більше поширюється застосування ЕС у ряді галузей, в тому числі і у нафтогазовій промисловості. Прикладом є такі фірми як Shell, Boroid, Schlumberger та інші. На об'єктах вітчизняної нафтогазової промисловості питання вдосконалення оцінювання витрат стоїть досить гостро. Це пов'язано з тим, що технологічне обладнання бурових установок має низьку надійність, функціонує у недетермінованому просторі ситуацій і не завжди існує можливість отримання вірогідної та повної інформації щодо витрат на буріння свердловини, що ускладнює прийняття керуючих рішень. Тобто інтелектуалізація оперативного оцінювання витрат підприємств на буріння нафтових та газових свердловин є актуальною задачею.

Аналіз шляхів удосконалення моделей та систем управління складними технологічними об'єктами з використанням штучного інтелекту показує, що, у зв'язку з розвитком методів штучного інтелекту та вдосконаленням програмних та технічних засобів обчислювальної техніки виникає можливість організації нового підходу до розробки моделі оперативного оцінювання витрат. Такий підхід полягає у інтелектуалізації стратегічного управління витратами і оцінювання витрат в реальному часі, що дозволяє ефективно впливати на витрати в умовах невизначеності. Крім того, приєднання ЕС до системи управління витратами дозволяє використовувати знання та виробничий досвід висококваліфікованих фахівців-економістів для прийняття управлінських рішень.

Дослідження останніх років показують, що класичні методи теорії оптимального управління важко застосувати для розв'язку задач оцінювання витрат на буріння свердловини в умовах невизначеності, оскільки вимагається висока точність у моделюванні, що не можливо досягти на практиці.

Тому перспективним напрямком є інтелектуалізація оцінювання витрат з використанням ЕС, спроможних працювати з лінгвістично невизначеною інформацією. При цьому враховується, що керівник зацікавлений у щоденному (на один-два дні) та оперативному (протягом наступних декількох годин) плануванні.

Запропонований нами ефективний метод короткотермінового планування, і як одна з його складових -- модель оперативного оцінювання витрат на буріння, використовує правила нечіткої логіки (рис.3.6).

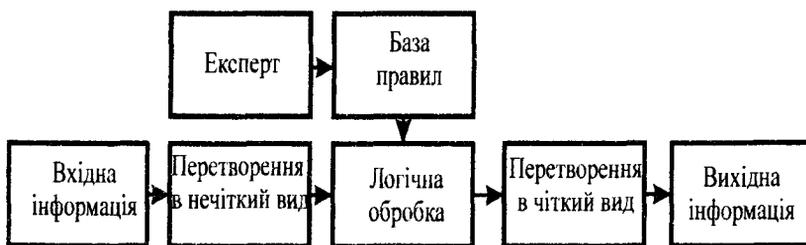


Рис. 3.6 Модель оперативного оцінювання витрат на буріння, що базується на правилах нечіткої логіки

Співвідношення між доступними входами і виходами представлено нечіткими основними правилами, наприклад:

Р1: *ЯКЩО зменшилась густина бурового розчину, збільшився обсяг промивної рідини, збільшився вміст хлоридів, збільшилася водовіддача, зросло статичне напруження зсуву, збільшилася границя біжучості, зросла в'язкість розчину, із свердловини витікає буровий розчин коли вимкнуті бурові насоси, ТО має місце поступлення пластової води.*

Це дозволяє описувати виробничі ситуації простим способом. Входи перетворюються у нечіткий вид шляхом фаззифікації і створюють базу правил або базу знань (БЗ).

Виходи отримують інформацію від бази знань після перетворення у чіткий вид шляхом дефаззифікації.

До БЗ можуть бути включені додаткові знання експертів про процес, тобто БЗ може розширюватися у часі. Крім того, враховано, що співвідношення різних вхідних впливів можуть змінюватися у часі.

Особливістю запропонованої інтелектуальної системи є те, що інформація (модель) та управлінські функції (механізм логічного виведення) є окремими частками, що дає можливість керувати і вдосконалювати модель, або замінити її без заміни логічного виведення.

Проектування ЕС здійснено у три етапи: виявлення знань, представлення знань та використання знань.

Виявлення та представлення знань відповідає процесу моделювання, а використання знань - процесу прийняття рішень.

Архітектура та функціональний зв'язок між структурними блоками ЕС ECON-DRILL, що використовується для підтримки рішень під час буріння свердловини, наведені на рис. 3.7.

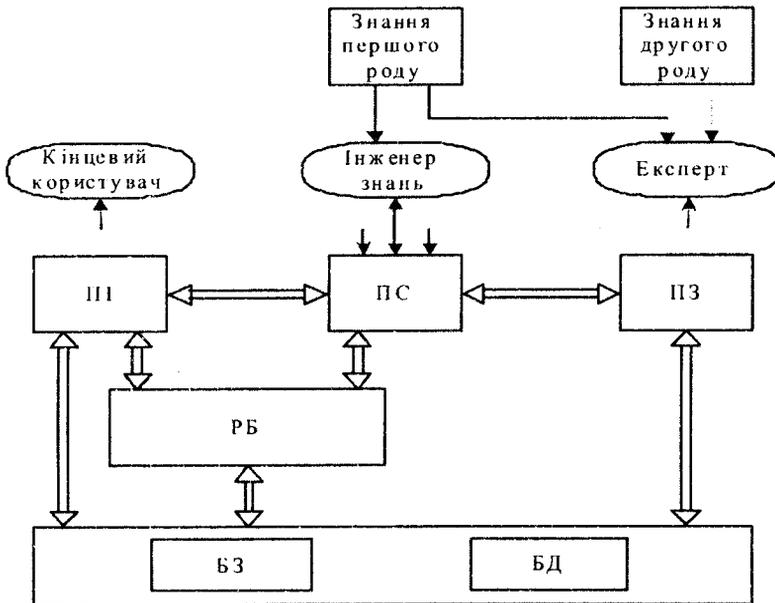


Рис 3.7 Функціональна схема ЕС ECON-DRILL

ЕС містить базу знань (БЗ) та базу даних (БД), розв'язувальний блок (РБ), підсистеми спілкування (ПС), інтерпретації (ПІ) накопичених знань, підсистему здобуття знань (ПЗ).

Через інтерфейс спілкування ПС з ЕС зв'язані: кінцевий користувач, експерт, інженер знань.

Експерт та інженер знань працюють з ЕС на етапі накопичення знань, а кінцевий користувач працює з ЕС на етапі експлуатації та використання знань.

Знання, якими заповнена ЕС, містять знання першого роду – декларативні (загальновідомі факти, закономірності, визнані у галузі буріння свердловин та зафіксовані в книгах, статтях, довідниках тощо чи утворені іншими інтелектуальними системами знань завдяки виведенням після оброблення інформації), та знання другого роду – процедурні (емпіричні правила, інтуїтивні міркування та факти, що, як правило, не публікуються, але дають змогу досвідченому експерту навіть в умовах неповноти їх та суперечливості ефективно приймати рішення).

ЕС (рис. 3.7) стосовно задачі вибору і прийняття раціонального рішення при оперативному плануванні собівартості буріння свердловини передбачає реалізацію наступних процедур:

1. Накопичення декларативних знань про витрати на буріння свердловини у базі даних БД.
2. Обробку вхідних даних за допомогою процедурних знань (прикладних програм) у інформацію, яка необхідна для прийняття рішення.
3. Управління витратами на основі декларативних знань про форми реалізації цих рішень та знань про можливі етапи об'єкта, шляхом використання системи управління базою знань БЗ.

Такий підхід до реалізації ЕС орієнтує на створення більш гнучкого управління, яке дозволяє вибрати найкращі рішення, що є більш ефективним в умовах буріння свердловини на нафту і газ.

У зв'язку з тим, що процес буріння є невідновним та таким, що змінюється у часі, неможливо отримати поточну

детерміновану інформацію про його техніко-економічні показники. Одночасно із зміною глибини свердловини змінюються властивості гірських порід, довжина бурильної колони, тип та розмір долота, коливання колони та талевої системи та інші технологічні фактори. Більше того, виникають різні критичні ситуації, причини яких не можуть бути визначені точно.

Так, різке зростання собівартості 1 м проходки порівняно з попереднім рейсом може бути викликане збільшенням твердості гірських порід, катастрофічним зносом долота або аварійними ситуаціями: прихопленням бурильного інструменту, обвалом стінок свердловини. Це супроводжується зменшенням проходки на долото.

Аналогічно, різке зменшення собівартості 1 м проходки може бути викликане входом долота у більш м'які породи, у продуктивний пласт або у зону з аномально високим поровим тиском.

Крім того, необхідно враховувати зміни цін на долота, труби, реагенти, енергоносії, воду, тощо. Це призводить до ситуації, коли оцінювання витрат на процес буріння та аналіз його техніко-економічних показників відбувається за умов інформаційної невизначеності, і тому вимагає застосування сучасних інтелектуальних методів контролю і управління.

При існуючій системі оцінювання витрат собівартість 1 м проходки може бути визначена лише по закінченні рейсу долота. Проте, для керівництва дуже важливо мати прогноз собівартості 1 м проходки на один-два дні або на декілька годин.

Як відмічалось вище, застосування детермінованих, стохастичних методів та методів бінарної логіки у бурінні свердловин не дало бажаного ефекту. Тому використання методів нечіткої логіки у поєднанні з традиційними методами є перспективним та найбільш доцільним для прогнозування собівартості буріння свердловини.

Загальновідомим критерієм ефективності бурових робіт є мінімум собівартості 1 м проходки B_c . Він визначає результати технологічного процесу буріння [36].

Перелік параметрів (P, n, t, h) , що впливають на собівартість 1м проходки, дозволяє цілеспрямовано провести дослідження залежності B_c від цих параметрів.

Однак, під час буріння свердловини долото може перейти у гірські породи з іншими фізико-механічними властивостями, може статися зміна технологічної ситуації, що веде до зміни механічної швидкості буріння, проходки на долото та часу буріння.

Тому, користуючись тільки детермінованим виразом (2.8), здійснити розрахунок поточного значення собівартості 1м проходки в умовах невизначеності технологічного процесу неможливо. Ця нечітка ситуація може бути ідентифікована і використана для прогнозування характеру зміни B_c за допомогою логічних правил-продукцій у вигляді [42]:

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

де A_1, \dots, A_n - перелік умов,
 B_1, \dots, B_m, C – перелік дій.

Використання фаззі-логіки дозволяє здійснити прогнозування B_c у процесі буріння свердловини в умовах невизначеності (випадковості та нечіткості), оскільки:

- має місце значна кількість параметрів і показників процесу буріння, які повинні враховуватися у математичній моделі;
- неможливо побудувати ефективну математичну модель для економічної задачі, що поставлена, в умовах невизначеності процесу буріння;
- задача прогнозування собівартості метра проходки не розв'язується класичними методами.

Застосування фаззі-логіки передбачає наступні етапи:

- формалізація поставленої задачі: визначення змінних;
- співставлення мовного опису з конкретними фізичними значеннями;
- розробка бази правил, які визначають стратегію прогнозування;

- ввід початкових правил і задання методу дефазіфікації вихідних даних;
- інтерактивний аналіз моделі з використанням заздалегідь підготованих промислових даних або за допомогою програмної моделі об'єкта;
- реалізація методу.

Перший етап базується на знаннях та досвіді експертів. Кількість термів, за допомогою яких експерти оцінювали собівартість 1м проходки, прийнята рівною п'яти: дуже мала (VS), менше норми (S), норма (M), більше норми (B), дуже велика (VB).

Вимірювані параметри: осьове навантаження на долото P , швидкість обертання n , а також визначення часу буріння t , проходки за 1 рейс долота h_p .

Показники, що визначаються: критичне навантаження на долото, зміна сили опору порід, поступлення долота у зону з аномально високим тиском, собівартість 1м проходки.

Отриманий лінгвістичний опис процесу буріння, який зроблено на підставі висновків експертів та ретельного вивчення літератури:

- Осьове навантаження на долото обмежене певними границями. Інакше, результати спостережень не є коректними.
- Критичний знос оснащення долота характеризується різким зменшенням швидкості буріння та зростанням собівартості 1 м проходки.
- Критичний знос опор долота характеризується збільшенням моменту на долоті, зменшенням швидкості буріння та зростанням собівартості 1 м проходки.
- Можливість аварійної ситуації характеризується різким зменшенням швидкості буріння та зростанням собівартості 1м проходки.
- Вхід долота у зону з аномально високим пластовим тиском характеризується зростанням швидкості буріння та зменшенням собівартості 1 м проходки.

- Вхід долота у продуктивний пласт характеризується зростанням швидкості та зменшенням собівартості 1м проходки.
- Зміна меж пластів характеризується різким зростанням моменту на долоті.

Цей опис є початковою точкою для розробки відповідної бази правил Мамдані-типу, у вигляді спеціальних евристичних правил, що витікають з лінгвістичних знань, поданих вище. Вони безпосередньо описують залежність собівартості 1м проходки від часу буріння та проходки протягом одного рейсу долота. Відповідно, загальна форма правил буде наступною:

якщо h_p це А та $t \in B$ то $B_c \in C$.

Більш детально, для прикладу, подаються наступні три правила:

- якщо $h_p \in VS$ та $t \in VB$ тоді $B_c \in VB$ (кричний знос опор або озброєння долота),
- якщо $h_p \in S$ та $t \in VB$ тоді $B_c \in VB$ (вірогідність аварійної ситуації),
- якщо $h_p \in VB$ та $t \in S$ тоді $B_c \in VS$ (долото потрапило у продуктивний пласт).

Повна база правил подана у наступній матриці (табл.3.2)

Таблиця 3.2

Повна база евристичних правил Мамдані-типу

t	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 міні-оператором (фаззі "та"), прості правила об'єднані мах-оператором (фаззі "або"). У моделі поточні вхідні дані є чіткими величинами.

Подана вище база правил не є кінцевим рішенням моделювання, тому що фактично час буріння та проходка не можуть бути безпосередньо керованими. Таким чином, їх не можна безпосередньо використати для моделювання. У моделі, яка нами досліджується, вони замінюються змінними P (осьове навантаження на долото) та n (швидкість його обертання), у яких існує функціональна залежність з часом буріння та проходкою (2.34) та (2.36). Все це враховано при моделюванні шляхом визначення функцій належності.

Функції належності параметрів, що входять у нечіткі правила-продукції, були побудовані методом статистичної обробки експертної інформації.

Математична формалізація експертних знань, покладених в основу моделі, здійснена у рамках теорії нечітких множин. У результаті обробки експертної інформації за допомогою програми DynStar були отримані фаззі графіки функцій належності для кожного параметра, які надані на рис.3.8-3.10.

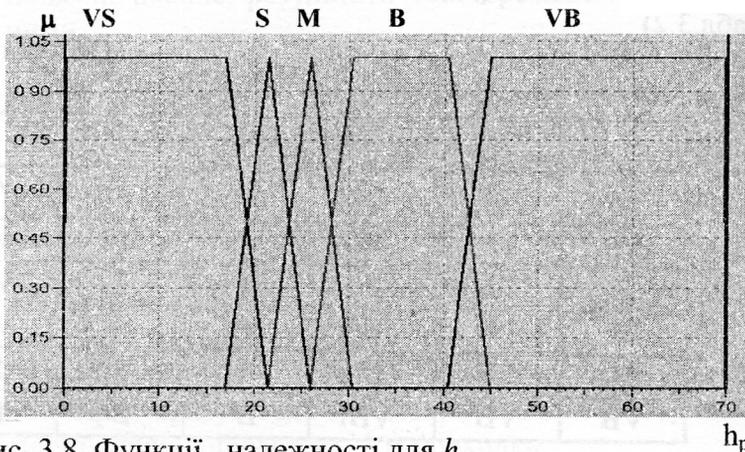


Рис. 3.8 Функції належності для h_p

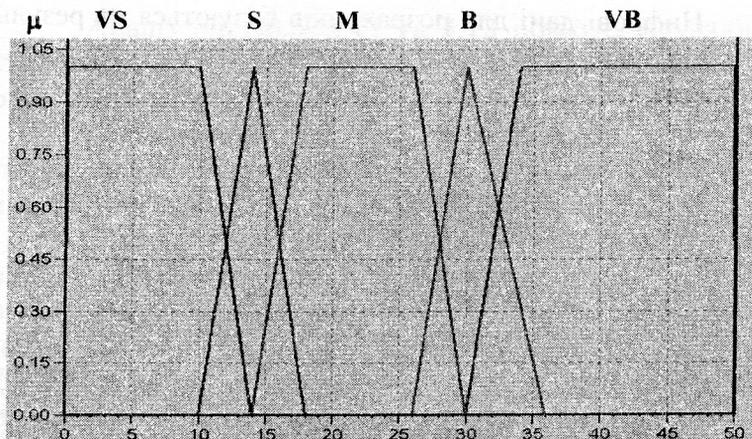
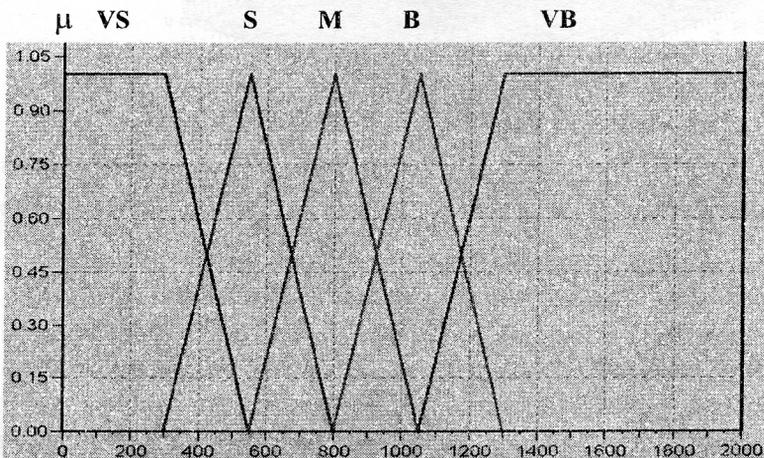


Рис.3.9 Функції належності для t



V_c

Рис. 3.10 Функції належності для V

Використовуючи ЯКЦО-ТО правила, нами була змодельована поведінка собівартості V_c за P та n як вхідних змінних (рис.3.11). Межі зміни параметрів P та n були такими: $50 \leq P \leq 400$ (кН), $0,25 \leq n \leq 5$ (об/с).

Цифрові дані для розрахунків базуються на результатах буріння свердловин у Прикарпатському УБР ВА "Укрнафта".

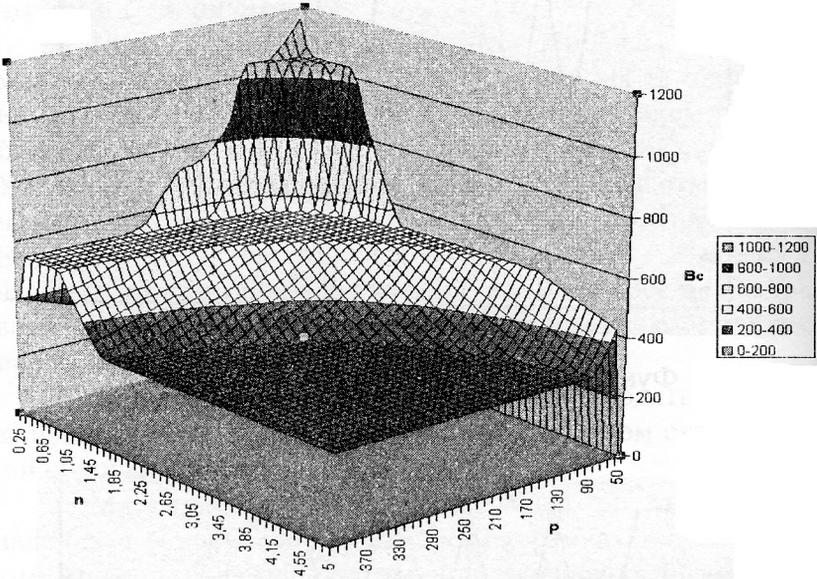


Рис. 3.11 Графік залежності $V_c(P, n)$ у тривимірному просторі, побудований з використанням бази правил Мамдані-типу

Нижче наведена фаззі модель V_c прямого моделювання, у якій використані h_p та t як вхідні змінні (рис.3.12).

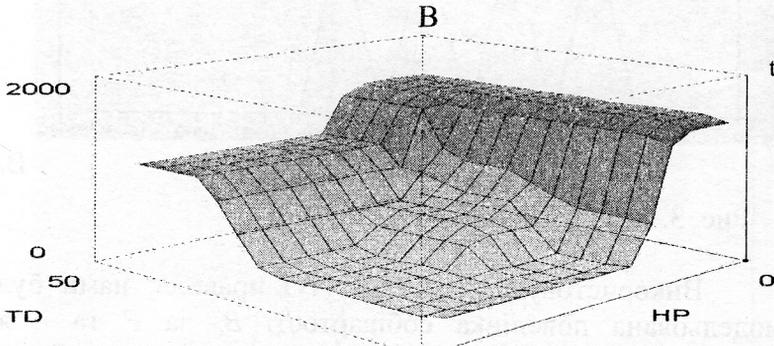


Рис. 3.12 Графік залежності $V_c(h_p, t)$ у тривимірному просторі, побудований методом прямого моделювання

Аналіз рисунків 3.11 та 3.12 показує, що собівартість метра проходки V_c є суттєво залежною функцією параметрів P, n, hp, t і ця функція має мінімум.

Таким чином, ситуація у бурінні свердловин вимагає створення інтелектуальних, адаптивних, самонавчаючих систем управління.

Отже, створення інтелектуальних блоків окремих рівнів оцінювання витрат на буріння повинно базуватися на використанні проблемно-орієнтованих експертних систем реального часу і фаззі алгоритмів. Принципами побудови таких систем є: синтез архітектури, визначення обсягів інтелектуальних функцій на кожному рівні оцінювання, формування відповідних баз даних та баз знань, побудова математичних моделей.

3.3 Прогнозування собівартості буріння нафтових і газових свердловин на базі комбінованої моделі спостереження за собівартістю метра проходки

Користуючись відомим твердженням Норберта Вінера про те, що будь-яка цілеспрямована діяльність вимагає наявності від'ємного зворотного зв'язку, та висновком про необхідність використання від'ємного зворотного зв'язку в економічних системах управління виробництвом, запропонована структура системи оцінювання витрат у процесі буріння свердловини з від'ємним зворотнім зв'язком для контролю поточного значення собівартості буріння свердловини V_{cv} (рис.3.13).

Задане значення собівартості буріння свердловини $V_{cv(\text{задане})}$ порівнюється з поточним значенням V_{cv}^* , яке контролюється з певною періодичністю (декілька годин або діб) і отриманий результат $\Delta V_{cv} = V_{cv(\text{задане})} - V_{cv}^*$ аналізується разом з інформацією про ресурси і приймається таке рішення з управління бурінням свердловини, яке дозволяє різницю ΔV_{cv} звести до мінімуму.

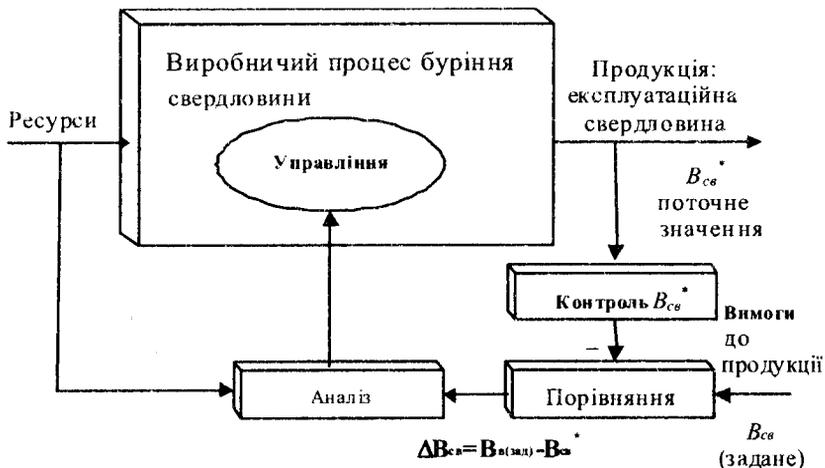


Рис.3.13 Структура системи оцінювання витрат на буріння свердловин з від'ємним зворотнім зв'язком

Важливість та ефективність такого управління зумовлена тим, що собівартість 1м проходки свердловини у ВАТ “Укрнафта” постійно зростає.

У нашому випадку функціональна залежність визначається прямою лінією, рівняння якої може бути представлено у вигляді:

$$B_{cm} = B^0 + \frac{\Delta B_c}{\Delta h} h, \quad (3.1)$$

де B^0 - постійна складова собівартості метра проходки, яка визначається за графіком;

ΔB_c , Δh - приріст собівартості метра проходки, що відповідає приросту глибини свердловини на Δh ;

h - поточне значення глибини свердловини.

Наявність функціональної залежності собівартості метра проходки від глибини буріння підтверджує можливість і ефективність створення системи прогнозування собівартості буріння свердловини на основі розробленого нами методу прогнозування собівартості метра проходки.

Стрибокподібний зростаючий тренд собівартості 1 м проходки при використанні цього методу наведений на графіку (рис.3.14).

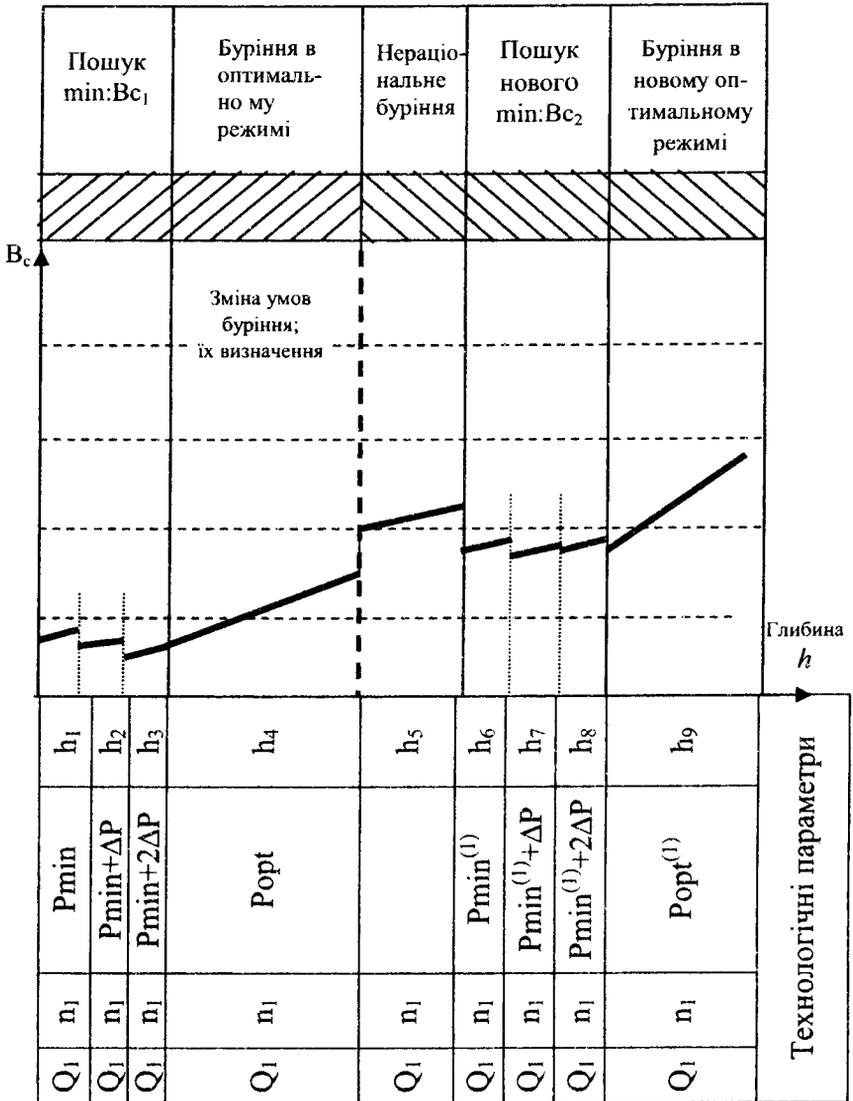


Рис.3.14 Стрибокподібний зростаючий тренд собівартості 1 м проходки при бурінні свердловини

Початком є пошук $\min: B_c$ та буріння в оптимальному режимі. Пошук повторюється після зміни умов буріння та їх визначення, потім ведеться буріння у новому оптимальному режимі. Відповідно змінюються витрати на пошук нового режиму, нерациональне буріння і буріння в оптимальних режимах. Поточне значення собівартості буріння свердловини визначається площею під лінією $B_c(h)$.

З типових класів “кривих зростання”, що використовуються для моделювання економічних показників [38] вибираємо трендову модель – пряму

$$B_c = a_0 + a_1 h. \quad (3.2)$$

Для визначення характеристики, за допомогою якої можна ідентифікувати прямолінійну залежність, розрахуємо різницю двох сусідніх рівней:

$$U_1 = B_{c(t+1)} - B_{ct} = a_0 + a_1 * (h+1) - a_0 - a_1 * h = a_1 = const, \quad (3.3)$$

де U_1 - перший приріст функції за один період.

З (3.3) бачимо, що, якщо тренд описується рівнянням прямої, то перші прирости будуть сталими. Тут не враховується вплив перешкод на значення рівней B_{ct} , і тренд розглядається без перешкод. Але, коли розглядаються перші різниці для рядків, то прирости отримуватимемо не чистими, оскільки в них будуть присутні перешкоди. Тому можна говорити лише про близькість приростів до сталих значень. Таким чином для ідентифікації прямої можна використати характеристику a_1 .

$$F_{роз} = \frac{S_I^2}{S_{II}^2} = \frac{1558,6727}{1334,57} = 1,168.$$

За літературними даними зниження собівартості буріння свердловини B_{cv} на 10-30% веде до збільшення рентабельності буріння свердловини на 10,1-14,4%.

Тобто, зниження собівартості буріння свердловини є одним із головних факторів підвищення ефективності

виробництва. Але треба враховувати, що собівартість буріння свердловини складається із собівартості кожного пробуреного метра, яка збільшується з глибиною [36,39] і залежить від багатьох параметрів

$$B_c = \sum_{i=1}^k B_{ci} h_i, \quad (3.4)$$

де B_{ci} – собівартість метра проходки в i -ому рейсі долота, грн/м;

$i=1,2,\dots, k$ – кількість рейсів доліт;

h_i – проходка на долото, м.

Собівартість метра проходки B_{ci} визначається за формулою (1.5). Формули (2.39), (2.40) дають змогу оцінити собівартість метра проходки за результатами спостережень за технологічним процесом буріння свердловини.

Враховуючи те, що собівартість метра проходки B_c найбільше впливає на рівень рентабельності буріння, за цим показником треба постійно спостерігати під час буріння свердловини.

Класична система спостереження (рис.3.15) базується на використанні лінеаризованої моделі у вигляді рівнянь (2.39), (2.40), які описують поточне значення собівартості метра проходки свердловини $B_c(t)$.

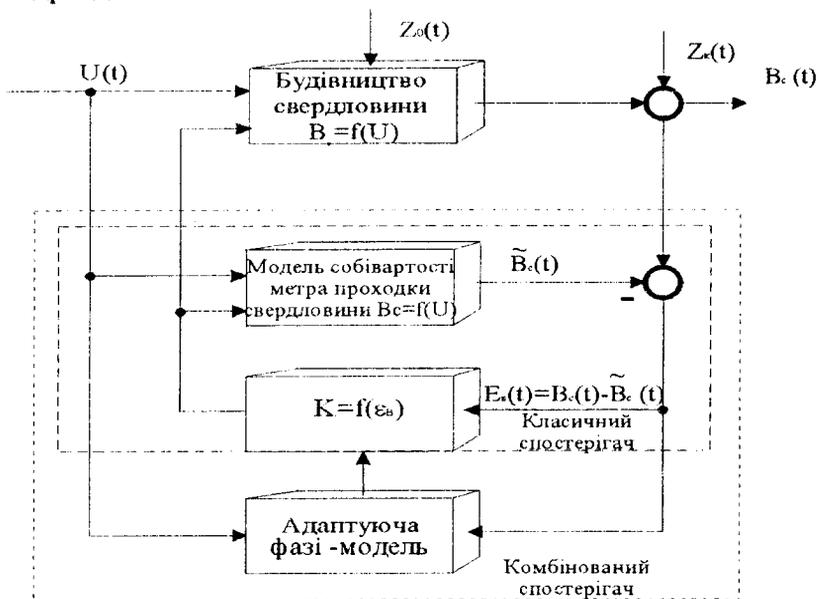
Різниця між поточним значенням собівартості метра проходки свердловини $B_c(t)$ та прогнозним значенням $\tilde{B}_c(t)$,

$$E_B(t) = B_c(t) - \tilde{B}_c(t) \quad (3.5)$$

використовується для корекції параметрів моделі собівартості метра проходки та керуючих впливів на процес буріння свердловини.

Враховуючи, що процес буріння є нестационарним, нелінійним, розвивається у часі і протікає в умовах апріорної невизначеності, яка обумовлена зміною умов буріння, запропоновано доповнити структуру системи класичного спостереження адаптивною фаззі-моделлю.

Фаззі-модель дає можливість компенсувати нелінійності і вдосконалити оцінку собівартості метра проходки у режимі on-line. Нечітка ситуація при бурінні свердловини ідентифікована і використана для прогнозування характеру зміни собівартості метра проходки свердловини V_c за допомогою бази правил Мамдані-типу, що розглянуті у підрозділі 3.2.



$V_c(t)$ – поточне значення собівартості метра проходки свердловини;

$\tilde{V}_c(t)$ –прогнозне значення собівартості метра проходки свердловини;

$U(t)$ – керуючі впливи;

$Z_k(t)$ – похибки контролю;

$Z_0(t)$ – збурюючі впливи, що діють на процес буріння свердловини.

Рис.3.15 Структура системи спостереження за собівартістю метра проходки

Поточні вхідні дані h_p і t_b у цій моделі є чіткими величинами, але оскільки вони не є безпосередньо керованими, то зроблений перехід до керуючих впливів: осьового навантаження на долото P і швидкості його обертання n . Функціональна залежність між ними, часом буріння t_b та проходкою h_p подана у формулах (1.5, 2.40, 2.41). Вона врахована при моделюванні шляхом визначення функції належності $\mu(x)$.

Нижче подається схема логічної обробки нечіткої інформації щодо собівартості метра проходки свердловини B_c (рис.3.16) з двома вхідними термами: “сильно” і “слабко”.

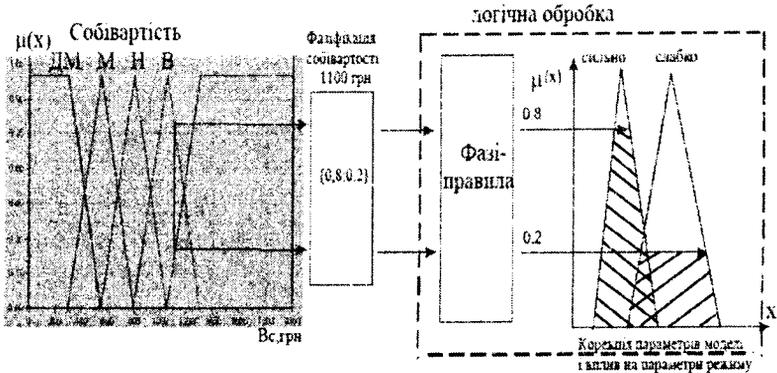


Рис.3.16 Схема логічної обробки нечіткої інформації щодо собівартості метра проходки B_c

Терми “сильно” і “слабко” стосуються корекції параметрів моделі класичної системи спостереження і такого впливу на параметри режиму буріння P і n , який треба створити, щоб повернути собівартість метра проходки свердловини в бік “менше норми”.

Бачимо, що до кожного вихідного терму від фаззифікації приходять своя ступінь належності $\mu(x)$. Логічна обробка активізує у відповідності із заданими фаззі-правилами терми вихідної фаззі-змінної.

У нашому прикладі правило, яке визначено зв'язком між термом вхідних і вихідних змінних, має такий вигляд:

ЯКЦО собівартість $V_c = DV$ (дуже велика) ТО корекція параметрів моделі класичного спостерігача та зміна параметрів режиму буріння повинна бути суттєвою (“сильно”).

Терм “сильно” є активним до ступеня належності 0,8. Це означає, що всі значення ступеня належності від 0,0 до 0,8 проєктують на вісь X вихідне значення. Але це нескінченна множина значень, тобто правило видає нечіткий результат. Значення, яке необхідно взяти для корекції параметрів моделі класичного спостерігача та управління режимом буріння визначаються за допомогою дефаззифікації.

Для активізації терма “слабко” потрібне ще одне правило:

ЯКЦО собівартість $V_c = V$ (не дуже велика, але більше норми), ТО корекція параметрів моделі класичного спостерігача та зміна параметрів режиму буріння повинна бути “слабко”.

Результат дії цих правил наведений на рис.3.16 у вигляді заштрихованої площини.

Перетворення результату у чітке значення корегуючого впливу для класичного спостерігача за собівартістю метра проходки V_c проводиться за допомогою операції дефаззифікації, згідно якої за наявності двох активних термів в якості виходу приймається проєкція центру мас фігури, яка отримана шляхом накладання всіх усічених площин, що відповідають результату кожного активного правила. Тут може бути використаний метод дефаззифікації Pro Fuzzy фірми “Siemens”. Це найбільш простий метод, що має високу швидкість розрахунку.

Аналіз результатів моделювання дає можливість стверджувати, що фаззі-модель Мамдані-типу може з успіхом використовуватись для оцінювання та прогнозування собівартості метра проходки.

Кінцевим результатом є видача рішення стосовно прогнозу собівартості буріння свердловини. За необхідністю додаються рекомендації щодо розрахунку нових параметрів режиму буріння.

Використання фаззі-моделі собівартості буріння свердловини на нафту і газ дозволяє значно здешевити

процес буріння свердловини. Розглянута модель може бути використана не тільки при бурінні свердловини на нафту і газ, але і при бурінні на тверді корисні копалини і воду, тому що вона відображає причинно-наслідкові зв'язки між керуючими впливами та собівартістю буріння свердловини та дозволяє розробити процедуру оцінювання і прогнозування собівартості буріння.

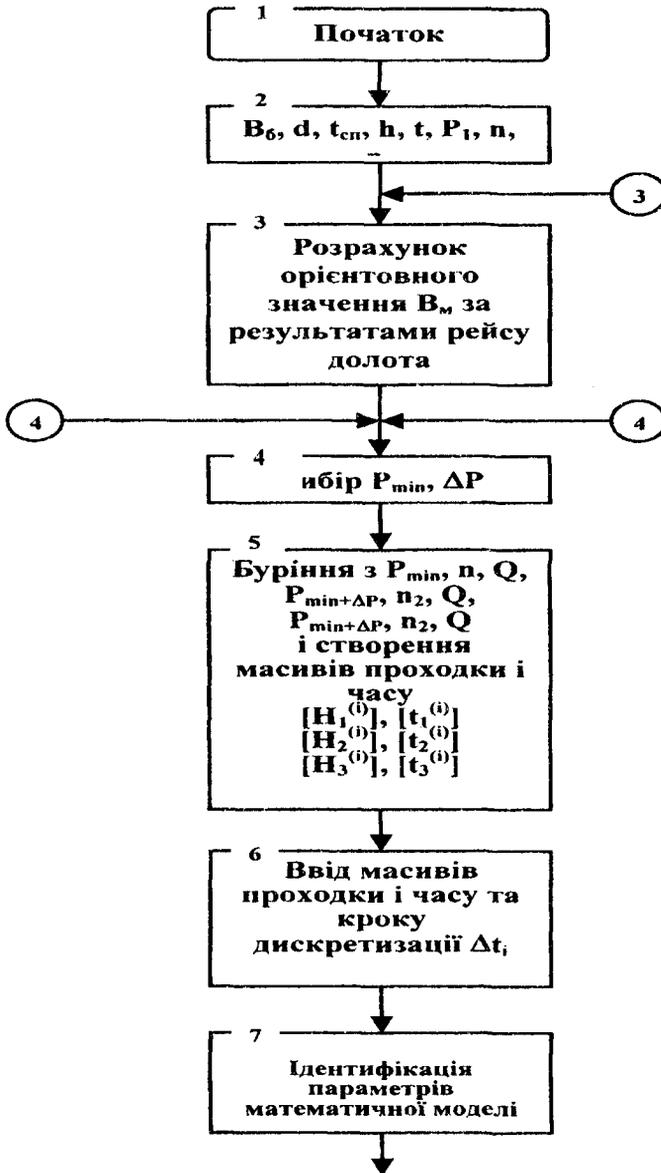
Питання оцінювання та прогнозування собівартості буріння свердловини є одним з центральних при вирішенні проблем оптимальної експлуатації техніки при бурінні свердловин на нафту і газ.

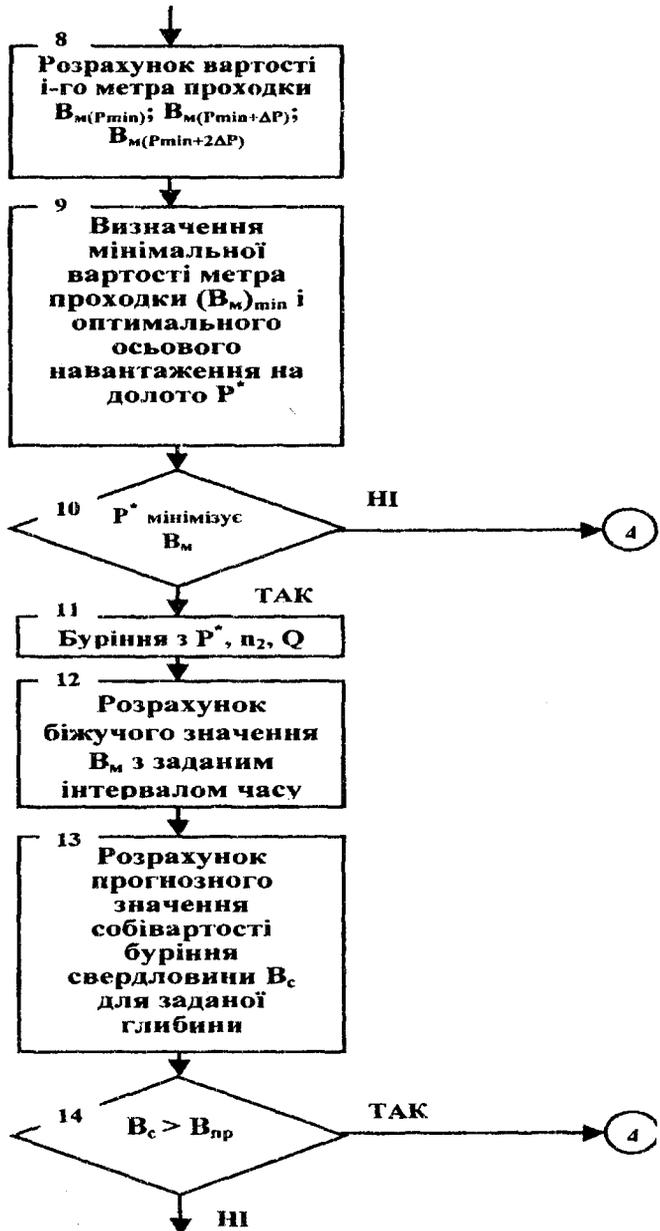
Аналіз причин економічних збитків, які несе галузь, показує, що на даний час відсутні моделі собівартості буріння свердловини, які дозволяють оцінювати поточне значення собівартості метра проходки та прогнозувати собівартість буріння свердловини. У зв'язку з цим задача дослідження природи формування собівартості буріння свердловини та розробка методу її оцінювання і прогнозування на основі поточної інформації щодо процесу буріння є актуальною і має важливе значення.

Була запропонована гіпотеза, згідно якої у розділі 2 встановлено, що собівартість метра проходки при бурінні свердловини залежить від параметрів режиму буріння. Це дало можливість розробити детерміновану модель собівартості метра проходки з контрольованими параметрами. Подальший розвиток моделі собівартості метра проходки зроблений на основі використання методів нечіткої логіки.

Проведено математичне моделювання собівартості метра проходки з використанням розробленої нечіткої моделі, яка враховує граничні умови та лінгвістичні правила-продукції, якими користуються експерти. Досліджені властивості моделі в режимі off-line на промислових даних за допомогою комплексу програм DynStar.

Доведено, що у виробничому процесі буріння свердловини можливе оцінювання та прогнозування собівартості буріння свердловини з необхідним кроком вперед. Вказане вище дозволило розробити процедуру прогнозування собівартості буріння свердловини, блок-схема алгоритму якого наведена на рис.3.17.





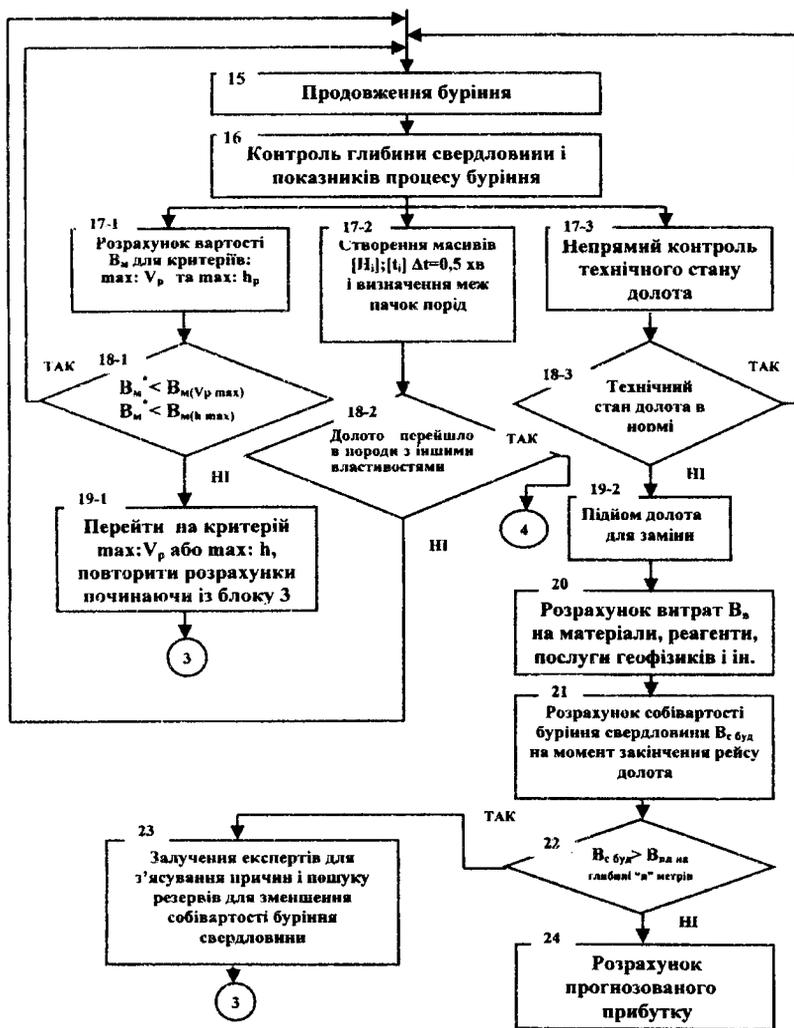


Рис.3.17 Блок-схема алгоритму прогнозування собівартості буріння свердловини

Блок 1 – початок.

Блок 2 – ввід початкових параметрів досліджуваної системи: V_o – вартість години роботи бурової установки без вартості долота; V_d – вартість нового долота у даному рейсі; t_{cn} – час спуско-піднімальних операцій у попередньому рейсі;

h – поточне значення проходки; t – час буріння у попередньому рейсі; P_l – осьове навантаження у попередньому рейсі; n_1 – швидкість обертання ротора у попередньому рейсі; n_2 – швидкість обертання ротора у поточному рейсі.

Блок 3 – розрахунок орієнтовного значення собівартості метра проходки B_c за результатами попереднього рейсу долота.

Блок 4 – вибір мінімального значення осьового навантаження на долото P_{min} та кроку приросту ΔP з області припустимих значень згідно геолого-технічного наряду.

Блок 5 – буріння з параметрами режимів $P_{min}, n_2, Q; P_{min+\Delta P}, n_2, Q; P_{min+2\Delta P}, n_2, Q$ на глибину приблизно 1 м при кожній комбінації параметрів та створення масивів проходки $[H_1^{(i)}], [H_2^{(i)}], [H_3^{(i)}]$ і часу $[t_1^{(i)}], [t_2^{(i)}], [t_3^{(i)}]$. Кількість відліків у кожному масиві повинна бути $20 \div 30$.

Блок 6 – вводяться значення t_i, H_i та крок дискретизації Δt_i .

Блок 7 – визначаються початкова швидкість проходки та швидкість зношення озброєння долота.

Блок 8 – розрахунок собівартості метра проходки свердловини, пробуреної за різних заданих параметрів режиму буріння (блок 5): $B_{M(P_{min})}; B_{M(P_{min+\Delta P})}; B_{M(P_{min+2\Delta P})}$.

Блок 9 – три значення собівартості метра проходки апроксимуються квадратичною параболою. Визначається мінімальне значення собівартості B_c та оптимальне осьове навантаження на долото P^* .

Блок 10 – якщо P^* мінімізує вартість B_c , то розрахунки продовжуються, якщо не мінімізує – повертаємося до блоку 4.

Блок 11 – здійснюється буріння свердловини з параметрами режиму P^*, n_2, Q .

Блок 12 – розрахунок поточного значення собівартості метра проходки з заданим інтервалом часу.

Блок 13 – розрахунок прогнозного значення собівартості буріння свердловини.

Блок 14 – порівняння поточного значення собівартості метра проходки з прогнозним.

Блок 15 – якщо фактичне значення собівартості метра проходки більше прогнозного, то повертаємося до блоку 4,

якщо ні, то продовжується буріння з вибраними параметрами режиму.

Блок 16 – контроль глибини свердловини та показників процесу буріння.

Блоки 17-1, 18-1, 19-1 – по мірі заглиблення свердловини розраховується собівартість метра проходки для альтернативних критеріїв оптимізації буріння - $\max: V_p$ і $\max: h$ і проводиться порівняння з B_c^* . Якщо $B_c^* < B_{c(\max: V_p)}$, $B_c^* < B_{c(\max: h)}$, то буріння продовжується. Якщо вказана умова не витримується, то буріння здійснюється за тим критерієм, який забезпечує $\min: B_m$ і повторюються розрахунки, починаючи з блоку 3.

Блоки 17-2, 18-2 – створення масивів проходки $[H_i]$ та часу $[t_i]$ з кроком дискретизації $\Delta t = 30$ с для визначення зміни зовнішніх умов буріння. Якщо долото при бурінні перейшло у пачку порід з іншими властивостями, то слід перейти до пошуку нового значення оптимального осьового навантаження на долото P^* (блок 4). Якщо зміни не спостерігаються, то буріння не змінюється.

Блоки 17-3, 18-3, 19-2 – здійснюється непрямий контроль технічного стану долота. Якщо він у межах норми, то буріння продовжується, якщо ні – здійснюється зупинка та підйом долота для заміни.

Блок 20 – розрахунок витрат B_v на матеріали, реагенти, послуги геофізиків тощо.

Блок 21 – розрахунок собівартості буріння свердловини на момент закінчення рейсу долота.

Блоки 22, 23, 24 – порівнюється фактична собівартість буріння свердловини $B_{c_{\text{фн}}}$ з плановою собівартістю до глибини “ n ” метрів. Якщо $B_{c_{\text{фн}}} > B_{c_{\text{пл}}}$ на глибині “ n ” метрів, то залучають експертів для з’ясування причин та пошуку резервів для зменшення собівартості будівництва свердловини і повертаються до блоку 3. Якщо $B_{c_{\text{пл}}(\text{на глїб "n" метрів})} - B_{c_{\text{фн}}} > 0$, то розраховують прогнозований прибуток.

Прогнозування собівартості будівництва нафтових і газових свердловин може здійснюватися у процесі поглиблення свердловини за допомогою одного з видів експерт-

них систем – системи підтримки прийняття рішень (СППР). Архітектура і функціональний зв'язок між структурними блоками СППР зображені на рисунку 3.7.

Система СППР ECON-DRILL, що розробляється, призначена для вибору раціонального економічного рішення при управлінні витратами на буріння нафтових і газових свердловин за критерієм "мінімум собівартості буріння свердловини". Вона являє собою практичну реалізацію методів і алгоритмів, що розглянуті у 3 розділі.

В ЕОМ введені предметні знання і емпіричні правила. Емпіричні правила висловлені у вигляді правил формальної логіки. Для правил, що містяться у БЗ, використано формат правил-продукцій: ЯКЩО ... ТО ...

Поряд з БД і БЗ важливим елементом даної СППР є інтерпретатор правил, який визначає, яке з правил повинно бути перевірено наступним.

Отже, для обробки знань СППР ECON-DRILL має три складові:

- факти (знання типу "В це В");
- правила (знання типу "ЯКЩО ... ТО....");
- керуючу структуру.

СППР ECON-DRILL являє собою пакет програм, розроблених з використанням методів фаззи-логіки та програмного пакету DynStar і реалізований у вигляді файлів для IBM - сумісних комп'ютерів.

У розгорнутому вигляді СППР ECON-DRILL складається з окремих модулів: завантажувального модуля, модулів забезпечення і підтримки інтерактивного режиму, вводу вхідної інформації, роботи із зовнішніми накопичувачами інформації, забезпечення документування результатів прогнозування, побудови статистичних характеристик прогнозів собівартості буріння свердловини; заповнення, ведення та корегування БЗ; прийняття раціонального рішення.

Для реалізації задачі прийняття раціонального рішення модулі СППР ECON-DRILL логічно об'єднані архітектурою, що зображена на рис. 3.18.

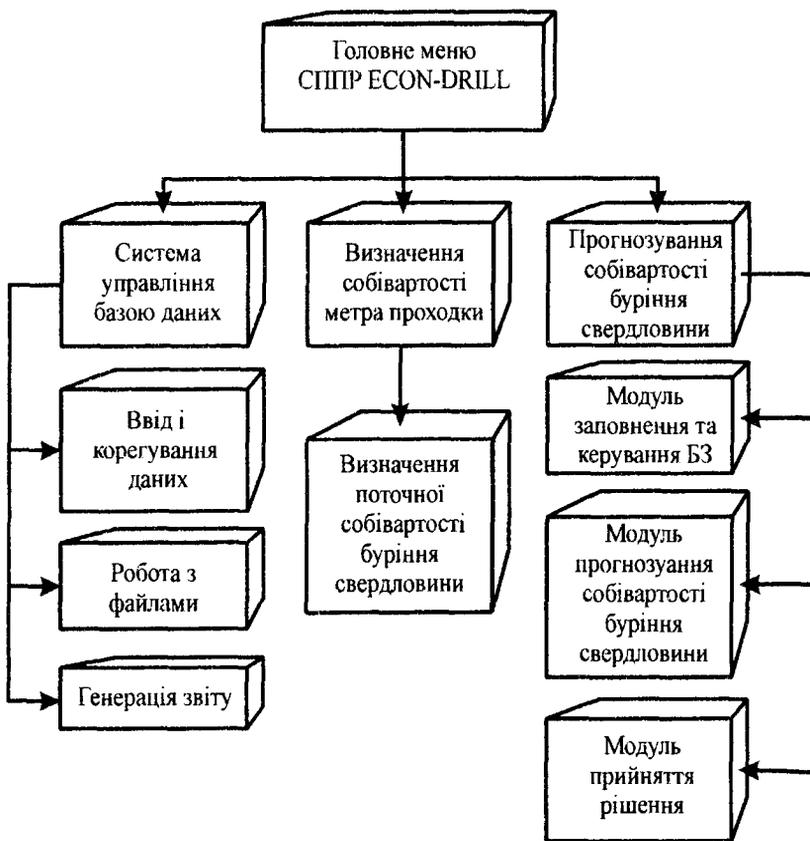


Рис. 3.18 Логічна структура СППР ECON-DRILL

СППР ECON-DRILL розрахована на користувача, що не має спеціальних навичок роботи з ЕОМ. Інтерактивний режим СППР дозволяє в зручній для користувача формі здійснити ввід вхідної інформації, формувати запити і повідомлення, оперативно впливати на хід розв'язання задачі.

Для збереження і накопичення вхідних даних і результатів прогнозування по свердловинах в складі системи ECON-DRILL передбачена система управління базою даних. На зовнішньому накопичувачі створюється банк

інформації, архітектура якого містить директорії з назвою родовищ і файли з інформацією про кожну свердловину (рис.3.19).

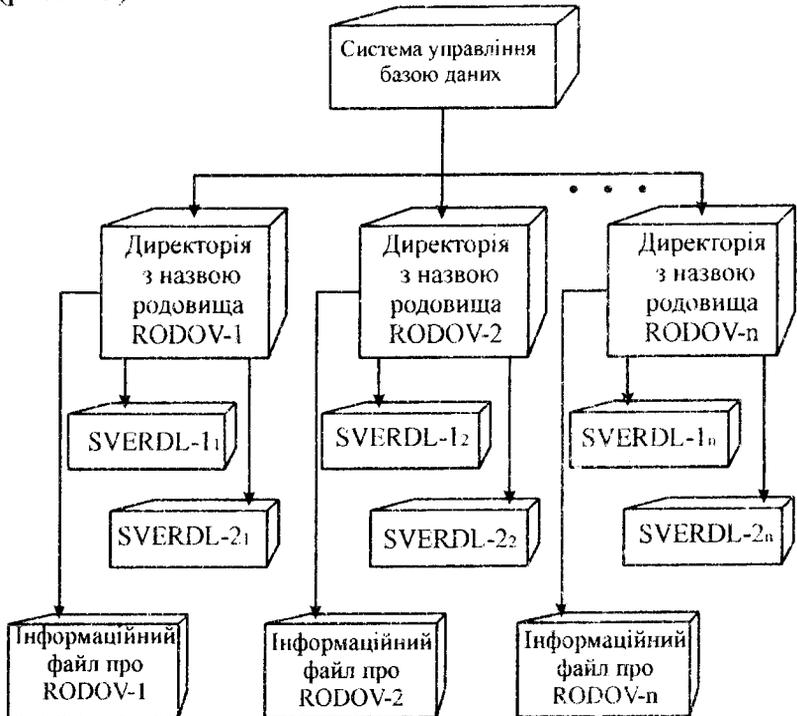


Рис. 3.19 Архітектура банку інформації СПП

У кожній директорії для конкретного родовища зберігається інформація про: номери родовища і свердловини; результати контролю режимно-технологічних параметрів процесу буріння; результати прогнозування собівартості 1 м проходки і собівартості буріння свердловини на декілька годин або діб вперед; глибину прогнозування і статистичні характеристики результатів прогнозу.

Система управління цією базою даних дозволяє також в інтерактивному режимі знищувати непотрібні дані по родовищах і свердловинах, генерувати звіт про собівартість буріння свердловини на основі інформації, що збе-

рігається у базі даних. За вибором користувача звіт може містити таку інформацію: вихідні дані і розрахункові значення собівартості метра проходки, результати прогнозування собівартості буріння свердловини на декілька годин або декілька діб. Ввід вхідних даних здійснюється з консолі. Для отримання більш вірогідного прогнозу знаходять середні результатів контролю.

Після завершення вводу чергової вибірки спостережень виконуються розрахунки собівартості метра проходки і прогнозного значення собівартості буріння свердловини.

У СППР ECON-DRILL передбачена також система управління базою знань, які подані у вигляді евристик таких видів: метаправила, службові правила і факти.

Факти бази знань розділені на нормативні дані по родовищу і оперативну інформацію на момент прийняття рішення по свердловині.

До нормативних даних віднесені такі відомості:

- собівартість 1 години роботи бурової установки;
- типорозмір долота;
- типорозмір бурильних труб.

Оперативна інформація, тобто факти одного сеансу прогнозування, містять такі відомості:

- глибина свердловини;
- глибина прогнозування собівартості;
- осьове навантаження на долото;
- частота обертання долота;
- час буріння;
- проходка за один рейс долота;
- час, витрачений на спуско-підймальні операції у попередньому рейсі;
- параметри моделі.

У базовому варіанті СППР кількість термів за допомогою яких експерти оцінювали собівартість 1 м проходки, прийнята рівною п'яти: дуже мала (VS), менше норми (S), норма (M), більше норми (B), дуже велика (VB).

СППР ECON-DRILL має інтегроване середовище, що містить системи меню, вводу/виводу, інформаційних повідомлень і запитів. Структура інтерфейсу відповідає структурі експертних систем, термінологія запитів і повідомлень відповідає професійній.

Головне меню встановлюється після початку роботи, після завантаження даних в оперативну пам'ять комп'ютера, і передбачає вибір користувачем таких режимів роботи СППР:

- 1 База даних: ввід даних, робота з файлами, друк.
- 2 Визначення собівартості: поточна собівартість метра проходки свердловини; поточна собівартість буріння свердловини.
- 3 Прогноз собівартості: ввід і корегування бази знань, прогноз собівартості буріння свердловини, прийняття рішення.
- 4 Вихід.

Режим "База даних" передбачає роботу з вбудованою системою управління базою даних. Вибір операції "Ввід даних" активізує електронну таблицю для вводу вхідних даних; опція "Робота з файлами" призначена для активізації модуля роботи з зовнішнім накопичувачем інформації; опція "Друк" призначена для генерації звіту про результати прогнозування собівартості буріння свердловини. Режим "Визначення собівартості" передбачає роботу системи управління базою знань. Кінцевим результатом є видача раціонального рішення стосовно прогнозу собівартості буріння свердловини. За необхідності даються рекомендації щодо розрахунку нових параметрів режиму буріння.

Використання СППР ECON-DRILL у практиці буріння нафтових і газових свердловин дає змогу значно покращити організацію і управління цим складним економічним об'єктом.

Процедура прогнозування собівартості буріння свердловини випробувана на промислових даних в умовах Прикарпаття. Встановлено, що вона працездатна, дозволяє оцінювати і прогнозувати собівартість буріння свердловини.

ПІСЛЯМОВА

У монографії проведено аналіз галузевої проблеми оперативного оцінювання витрат бурових підприємств з урахуванням апріорної та поточної невизначеності процесу буріння для підвищення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств. Він дав змогу зробити наступні висновки науково-методичного змісту та практичного спрямування, які допоможуть більш ефективно, на базі інтегрованої системи, оцінювати витрати підприємств.

На підставі результатів аналізу систем оцінювання витрат підприємств встановлено, що відсутність теоретично-методологічних засад інтегрованих систем оцінювання витрат бурових промислових підприємств призводить до виникнення проблем в оцінюванні поточних витрат через нестачу інформації, яка відображає собівартість метра проходки свердловини в реальному часі. Для їх розв'язання необхідним є налагодження ефективного оцінювання собівартості метра проходки свердловини в умовах невизначеності процесу буріння шляхом використання сучасних і ефективних методів оцінювання витрат, що базуються на методах теорії нечітких множин і нечіткої логіки, які адаптовані до сучасних умов діяльності вітчизняних бурових підприємств.

Розроблено теоретичні засади оперативного оцінювання витрат бурових підприємств, які включають узагальнену фаззі-модель собівартості метра проходки, базу правил Мамдані-типу і модель оперативного оцінювання витрат на буріння, що базується на правилах нечіткої логіки. Вони дають змогу визначати витрати на буріння в реальному часі та прогнозувати собівартість буріння свердловин в залежності від їх глибини.

У результаті проведених досліджень основних витрат на буріння та взаємозв'язків складових собівартості процесу буріння розроблено ієрархічну структуру інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат бурових підприємств в умовах ринкової економіки. Визначено доцільність застосування системи оцінювання витрат підприємств на основі поєднання завдань стратегічного, тактичного та виконавчого рівнів, що створить умови економічним служ-

бам бурових підприємств для кращої структуризації та уможливити процеси оперативного оцінювання і прогнозування витрат на буріння нафтових і газових свердловин з урахуванням динамічного характеру обмежень на параметри технологічного об'єкта, нестационарного характеру зовнішніх збурень та специфічних умов буріння свердловин.

Сформована інтегрована система оперативного оцінювання витрат бурових підприємств, яка відображає сукупність організаційно-економічних заходів, що формують умови і порядок дій інтегрованої системи оцінювання витрат підприємства: а) визначення собівартості метра проходки; б) прогнозування собівартості буріння; в) регулювання витрат на буріння свердловини дозволяє керівникам підприємств отримати комплексну оцінку функціонування бурового підприємства у сфері економічних стосунків підприємств нафтогазовидобувного комплексу, а також надає можливість прийняття оптимальних управлінських рішень щодо формування мінімальних витрат на буріння.

Запропоновані методи інформаційного забезпечення прийняття економічних рішень, побудована інформаційна модель системи оперативного оцінювання витрат для бурових підприємств дають змогу у реальному часі оцінити собівартість метра проходки свердловини, запобігти необгрунтованому збільшенню собівартості буріння та сприяти підвищенню техніко-економічних показників буріння. Інформаційна модель може бути застосована керівниками підприємств для проведення ситуаційного аналізу діяльності бурового підприємства. Розроблена інформаційна система є основою використання інтегрованої системи оперативного оцінювання витрат на буріння для підвищення конкурентоздатності підприємства у сучасних умовах.

Розроблені і удосконалені економіко-математичні моделі, структури, методичні підходи, алгоритми та рекомендації доводять, що запропонована інтегрована система оцінювання витрат підприємства дозволяє керівникові вчасно приймати обгрунтовані рішення щодо оперативного регулювання витрат і раціонального використання матеріальних, енергетичних та трудових ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Копилов В.А. Стан і перспективи розвитку нафтогазового комплексу України / Копилов В.А. - Івано-Франківськ: Факел. – 2000. – С. 9-14.- (Збірник наукових праць. Матеріали 8-ої Міжнар. наук.- практи. конф. “Нафта і газ України – 2000”; т. 1.)
- 2 Кондратьев В.В. Показываем бизнес- процессы./ В.В. Кондратьев, М.Н. Кузнецов. – М.: Эксмо, 2007. – 352с.
- 3 Палагушкин В.А. Скважинная система как сложный объект управления /В.А. Палагушкин, П.Н. Чариков. - Уфа: УНИ, 1998. – С.38-42.. – (Проблемы нефтегазового комплекса России)
- 4 Куликовский Л.Ф. Информационно-измерительные системы для управления процессом бурения./ Л.Ф.Куликовский, В.И. Урмаев. – М.: Недра, 1972. – 174с
- 5 Шим Дж.К. Методы управления стоимостью и анализа затрат /Дж.К. Шим, Дж.Г. Сигел. – М.: Филинз, 1996. – 230с.
- 6 Samuel C. Certo. Strategic Management, Concepts and Applications / Samuel C. Certo, I. Paub Peter, Edward Ottensmeyer. – Chicago-Toronto, 1993. – 687р.
- 7 Ямпольський Л.С. Штучний інтелект у плануванні та управлінні виробництвом: підручник [для студ. вищ.навч. закл.] / Л.С. Ямпольський, О.А. Лавров. – К.: Вища школа, 1995. – 255с.
- 8 Rao M.V., Fontenot I.E. Many factors determine need for real-time or recorded data / M.V.Rao , I.E.Fontenot. - Oil and Gas Journal. – 1988. – Vol. 86, №4. – P.65-69.
- 9 Мищенко В.И. Организация работ при строительстве скважин / Мищенко В.И. – М.: Недра, 1980. – 220с.
- 10 Чефранов К.А. Регулирование процесса бурения / Чефранов К.А. – М.: Недра, 1973. – 157с.
- 11 Растрингин Л.А. Системы экстремального управления / Растрингин Л.А. – М.: Наука, 1974. – 630с.

- 12 Лесюк О.І. Організація виробництва: навч.посібник підручник [для студ. Спец. „Економіка підприємства”] / Лесюк О.І.- Ів.-Франк.: Місто НВ, 2002. – 500с.
- 13 Солодовников В.В. Информационное моделирование систем управления, включающих человека посредством ЦВМ / В.В. Солодовников, С.К. Арутюнов, Е.С. Лобусов, В.И. Ткачев// Системы отображения информации. – К.: НТО Приборпром, 1972. – С.9-11.
- 14 Майкасен Р. Экспертные системы. Реальность и прогнозы искусственного интеллекта / Р. Майкасен , Д. Мичи , А. Буланже – М.: Мир, 1987. – 256с.
- 15 Овезгельдыев О.А. Адаптивная математическая модель многофакторного оценивания /О.А. Овезгельдыев, К.Э. Петров. - Кибернетика и системный анализ. – 1977. - №3. – С.90-97.
- 16 Овезгельдыев О.А., Петров К.Э. Формирование многофакторных оценок при интервальном задании предпочтительности факторов / О.А. Овезгельдыев, К.Э. Петров . - Кибернетика и системный анализ. -- 1977. - №5. – С.85-93.
- 17 Крылов В.И. Резервы повышения эффективности строительства скважин / В.И. Крылов, Л.Н. Кошелева – М.: ВНИИОЭНГ, 1989. – 45с.
- 18 Обухова Т.А. Автоматизация в процессах нефтедобычи за рубежом./ Обухова Т.А., Куличенкова О.Т., Аносова Е.В. – М.: ВНИИОЭНГ, 1988. – 11с.
- 19 Бражников В.А. Информационные устройства для определения эффективности управления процессом бурения / В.А. Бражников, В.А. Кузнецов. – М.: Недра, 1979. – 108с.
- 20 Горбійчук М.І. Адаптивне керування процесом буріння глибоких свердловин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец.05.13.07 / М.І. Горбійчук. – Львів, 2000. – 35с.

- 21 Бражников В.А. Информационное обеспечение оптимального управления бурением скважин / В.А. Бражников, А.А. Фурне. – М.: Недра, 1989. – 208с.
- 22 Лукас В.А. Оптимальное управление многомерными технологическими объектами / Лукас В.А. – Свердловск: СГИ им. В.В.Вахрушева, 1984. – 80с.
- 23 Булатов А.И., Аветисов А.Г. Справочник инженера по бурению/ А.И. Булатов, А.Г. Аветисов – М.: Недра, 1995. – 191с.
- 24 Інструкція про порядок формування та використання трансфертних цін на бурові роботи. Київ.: ВАТ “Укрнафта” – 2002. – 14 с.
- 25 Исакович Р.Я. Автоматизация производственных процессов нефтяной и газовой промышленности / Исакович Р.Я., Логинов В.И., Попадко В.Е. – М.: Недра, 1983. – 424с.
- 26 Данилюк М.О. Взаємозв'язки моделей і структура системи техніко-економічного управління будівництвом свердловини / Микола Данилюк, Ірина Фадеєва// Трансформація регіональної економіки. – Івано-Франківськ.: Прикарпатський ун-т ім. В.Стефаника. – 2001.- №1. – С.18-23.
- 27 Хейес-Рот Ф. Построение экспертных систем. / Хейес-Рот Ф., Уотерман Д., Ленат Д. – М.: Мир, 1987. – 430с.
- 28 Gevarter W.B. Expert systems: Artificial intelligence applied / Gevarter W.B. - Telematics and Informatics. – 1984. – Vol. 1, №3. – P.239-251.
- 29 Hayes-Roth F. The Knowledge-Based expert system: a tutorial / Hayes-Roth F. - Computer. – 1984. – Vol. 17, №9. – P.11-28.
- 30 Hayes-Roth F. Building expert systems / Hayes-Roth F., Waterman D.A., Lenat D. - Reading MA: Addison Wesley. – 1989. – 547p.
- 31 Harmon P., Expert systems: Artificial Intelligence in Baseness / P.Harmon , D.King . – New York etc: Wiley, 1985. -- 283p.

- 32 Яремійчук Р.С. Бурение стволов большого диаметра / Р.С. Яремійчук, А.А. Райхерт. – М.:Недра, 1977. – 174с.
- 33 Ивахненко А.Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей / А.Г. Ивахненко, И.А. Мюллер. – К.: Техника, 1985. – 221с.
- 34 Лысенко В.Д. Оптимизация разработки нефтяных месторождений / Лысенко В.Д. – М.: Недра, 1991. – 296с.
- 35 Фадеева І.Г. Алгоритмізація багатокритеріальної задачі управління будівництвом свердловини /І.Г. Фадеева// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Сер. Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливо-енергетичного комплексу. – 1999. – Вип. 36(6). – С.47-54.
- 36 Фадеева І.Г. Ковзаюче планування вартості будівництва свердловини на нафту і газ / І.Г. Фадеева// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Сер. Економіка підприємства і організація виробництва. – 1999. – Вип. 36(7). – С.229-238.
- 37 Данилюк М.О. Інтегрована система управління буровим підприємством / Микола Данилюк, Ірина Фадеева //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Буріння нафтових і газових свердловин – 1997. – Вип.34(2) – С.103-109.
- 38 Данилюк М.О., Фадеева І.Г. Розвиток моделей управління процесом буріння глибоких свердловин на базі нечіткої логіки / Микола Данилюк, Ірина Фадеева// Економіка, екологія, енергетика. – 2001. – №1. – С.61-65.
- 39 Фадеева І.Г. Техніко-економічне управління будівництвом свердловин на нафту і газ / І.Г. Фадеева // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Сер. Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – 1997. – Вип. 34(6). – С.200-206.
- 40 Григор'єв В.І., Крижанівський Є.І., Данилюк М.О. Про державне управління та регулювання в нафтогазовому комплексі України / В.І. Григор'єв, Є.І.Крижанівський,

- М.О.Данилюк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Сер. Економіка підприємства і організація виробництва. – 1999. – Вип. 36(7). – С.26-29.
- 41 Фадєєва І.Г. Концепція розвитку багаторівневого управління будівництвом свердловин / І.Г. Фадєєва// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Сер. Буріння нафтових і газових свердловин. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. – 1997. – Вип.34. – С.109-113.
- 42 Калашников В.И. Системы управления с фаззи-логикой / Калашников В.И., Справедливый В.И., Франк Палис. – Донецк, Магдебург: Донецкий государственный техн. университет. – 1997. – 38с.
- 43 Kastner W., Fenske A., Hampel R. Improvement of the robustnes of Modellased Measuring Methods using Fuzzy Logic / W.Kastner, A.Fenske , R.Hampel// World Scientific, Proceeding of the 3rd International FLINS Workshop, Antwer, Belgium. – 1998. – P.129-142.
- 44 Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение /Дж. Неман, О.Моргенштерн. – М.: Наука, 1970. – 124с.
- 45 Устенко А.А. Организация и эффективность информационного обеспечения управления производственными процессами (на примере буровых предприятий): дис.. канд. екон. наук: 08.00.05/ Устенко Андрей Александрович. – Львов., 1990. – 251 с.
- 46 Бритченко Г.И. Совершенствование информационных потоков в управлении предприятием./ Бритченко Г.И. – Киев-Донецк: Вища школа, 1978. – 96 с.
- 47 Фадєєва І.Г. Комбінована модель спостереження за собівартістю метра проходки свердловини на нафту і газ / І.Г. Фадєєва //Соціально-економічні дослідження в перехідний період. Проблеми управління інноваційною діяльністю./НАН України. Інститут регіональних досліджень. – Львів. 2002. – Вип4 (XXXУ). - С.166-174.

- 48 Положення про планування, облік і калькулювання собівартості будівництва свердловин на нафту і газ. Київ.: ВАТ Укрнафта – 2002. – 28 с.
- 49 Вейц В.Л. Специфика условий разведочного бурения и поиск оптимального режима методом стохастической аппроксимации / В.Л.Вейц, В.А.Лакин, Л.Г.Шраго // Методика и техника разведки. ОНТИ ВИТР. – 1975. – №99. – С.20-25.
- 50 Самсоненко В.И. Оптимизация и регулирования процесса бурения скважин: автореф. дис на здобуття наук ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.15.10 / В.И. Самсоненко. – Уфа, 1992. – 43с.
- 51 Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизация АСКУ. / И.В. Кузьмин. - М.: Сов. радио, 1971. – 296с.
- 52 Данилюк М.О. Про взаємозв'язок елементів внутрішнього бізнес-середовища підприємств /М.О. Данилюк, І.М. Данилюк-Черних// Регіональна економіка: науково-практичний журнал. – Львів: Інститут регіональних досліджень НАН України. – 2009. - №3.

Наукове видання

Фадєєва Ірина Георгіївна

Данилюк Микола Олексійович

**ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ
ВИТРАТ БУРОВИХ
ПІДПРИЄМСТВ**

Монографія

Підп. до друку 18.08.2009. Формат 60x84/32. Папір офс. 70 г/м²,
Гарнітура Тип Таймс. Друк цифровий. Ум. друк. арк. 9,88.
Наклад 300 пр. Зам. № 1203ПО

Видання та друк ПП Супрун В. П.
м. Івано-Франківськ, вул. Витвицького 24/2
тел./ф. (0342) 505-686, e-mail: imsta@optima.com.ua
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовників
і розповсюджувачів видавничої продукції
Серії ІФ № 25 від 17.10.2005 р.