

УДК 681.516.77:622.24

ADAPTIVE SYSTEM WITH VARIABLE STRUCTURE FOR CONTROL OF THE BORING PROCESS

АДАПТИВНА СИСТЕМА ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

Kropivnitska V.V. / Кропивницька В.В.

s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-5231-7104

Sementsov H.N., Семенцов Г.Н.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-8976-4557

Korystynsky L.O. / Копистинський Л.О.

s.t.s./ к.т.н.

Feshanych L.I. / Фешанич Л.І.

s.t.s./ к.т.н.

ORCID: 0000-0002-5156-2199

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Karpatskaaya,
15,76019*

Анотація. У статті розглянуто питання створення адаптивної системи зі змінною структурою для керування процесом буріння глибоких нафтогазових свердловин. Запропоновано новий метод трансформації системи у вигляді логічної структурної моделі й алгоритм його реалізації на засадах бази правил типу Мамдані. На основі аналізу стійкості і показників якості розробленої системи автоматичного регулювання процесом буріння свердловин електробурами доведено, що найбільш раціональною є структура, яка забезпечує автоматичну стабілізацію активної потужності двигуна. Досліджено показники якості системи автоматичного регулювання осьового навантаження на долото. Показано, що для підвищення ефективності буріння доцільно продовжити аналізування параметричної стійкості розробленої системи.

Ключові слова: адаптація, автоматична система керування, змінна структура, метод трансформації, стохастично-хаотичний об'єкт, процес буріння.

Abstract. The article deals with the creation of an adaptive system with a variable structure for controlling the drilling of deep oil and gas wells. A new method of transformation of the system in the form of a logical structural model and an algorithm for its implementation on the basis of the Mamdani-type rule base is proposed. On the basis of stability and quality indicators of the developed system of automatic control of the drilling of wells by drills it is proved that the most rational is a structure that provides automatic stabilization of the active power of the engine. Quality indicators of the system of automatic adjustment of axial load on the bit were investigated. It is shown that in order to increase the efficiency of drilling it is advisable to continue analyzing the parametric stability of the developed system.

Keywords: adaptation, automatic control system, variable structure, transformation method, stochastic-chaotic object, drilling process

Вступ. Для управління процесом буріння глибоких нафтогазових свердловин система повинна мати властивість самонавчання з короткотерміновим прогнозуванням та можливість формування нового циклу прийняття рішень щодо можливої зміни структури, тобто адаптації. Вирішити проблему адаптації автоматизованої системи управління бурінням до виниклих змін геосередовища можливе, якщо представити її як елементарний крок у процесі її трансформаційного розвитку і пристосувань до спонтанних змін геосередовища. Така адаптація системи автоматизованого управління процесом буріння свердловин до конкретних геолого-технічних умов є важливою науково-прикладною проблемою, розв'язання якої особливо актуальне для нафтогазовидобувної галузі промисловості України, оскільки дозволяє забезпечити надійний підбір оптимального сполучення параметрів режиму буріння навіть в умовах, коли суттєво змінюється геосередовище. Окрім цього, це дозволяє контролювати осьове навантаження на долото під час буріння похило-спрямованих та горизонтальних свердловин за потужністю, яку споживає електродвигун, а, отже, зменшити витрати енергії на процес буріння свердловин.

Основний текст.

Запропоновано механізм трансформації системи управлінням, згідно з яким бурильник ставить за мету частину параметрів (осьове навантаження F на долото, або струм навантаження I двигуна електробура, або потужність P , що споживає електробур) цього процесу втримати в потрібній йому визначеній геолого-технологічним нарядом області допустимих значень. Відповідно до цього він видокремлює з системи буріння свердловини конкретну систему, яка реалізує потрібний йому процес і може реалізувати сукупність доцільних впливів на процес буріння. Отже, бурильник реалізує управління процесом буріння як сукупність впливів і алгоритмів та їх застосування в функції глибини свердловини. Така технологія управління в поточних умовах дозволяє досягти поставленої мети: $F = const \cup I = const \cup P = const$.

Враховуючи те, що при бурінні похило-скерованих свердловин глибиною 4500 м і більше можливостей керувальних впливів на існуючий процес у даних і прогнозованих умовах недостатньо [1-5] для досягнення мети управління $F = const$, яка формується не як функція фазних координат, а як функція глибини, тоді виникає необхідність зміни керованої величини. Це можливо лише за умов трансформації системи управління і переходу на реалізацію мети управління $I = const \cup P = const$. Проте, така ситуація є невизначеною, тому що перш ніж планувати і управляти переходом до нової структури системи, потрібно сформулювати мету, наприклад, у вигляді обмежень, які задають область допустимих розв'язків у просторі суттєвих параметрів. У такому випадку для управління необхідно самонавчання з прогнозом-екстраполяцією і повний цикл прийняття рішень [6], який реалізує редукцію різноманітності можливих змін. Розв'язок задачі адаптації системи автоматизованого управління процесом буріння свердловин електробурами до непрогнозовано виникаючих змін середовища можливий, якщо представити її як елементарний крок у процесі її розвитку. Проте такі зміни загалом є випадковою послідовністю пристосувань до спонтанних змін умов буріння.

Механізм трансформації системи можна представити у вигляді такої логічної структурної моделі $M_{mp} = \{F = const \cup I = const \cup P = const\}$ [7,8].

Алгоритм застосування цього механізму ґрунтується на базі правил Мамдані-типу (табл. 1). Для визначення оптимального режиму буріння запропоновано використати питомі витрати енергії w як критерій оптимізації.

Таблиця 1

Повна база правил Мамдані-типу

w		F				
		VS	S	M	B	VB
ω	VS	VB	B	M	B	VB
	S	B	M	S	M	B
	M	VB	S	VS	S	B
	B	B	M	S	M	B
	VB	B	B	M	B	VB

Авторська розробка

Кількість термів, за допомогою яких експерти оцінювали питомі витрати енергії, прийнято рівною п'яти: дуже мала VS, менше норми S, норма M, більше норми B, дуже велика VB. Форма функцій належності – трикутна. Осьове навантаження на долото обмежене певними значеннями $50 \leq F \leq 400$ кН; частота обертання долота змінюється в межах $0,25 \leq \omega \leq 5$ об/с; питомі витрати енергії – $400 \leq w \leq 1200$ (кВт·год)/м. Графік залежності $w(F, \omega)$ наведено на рис. 1.

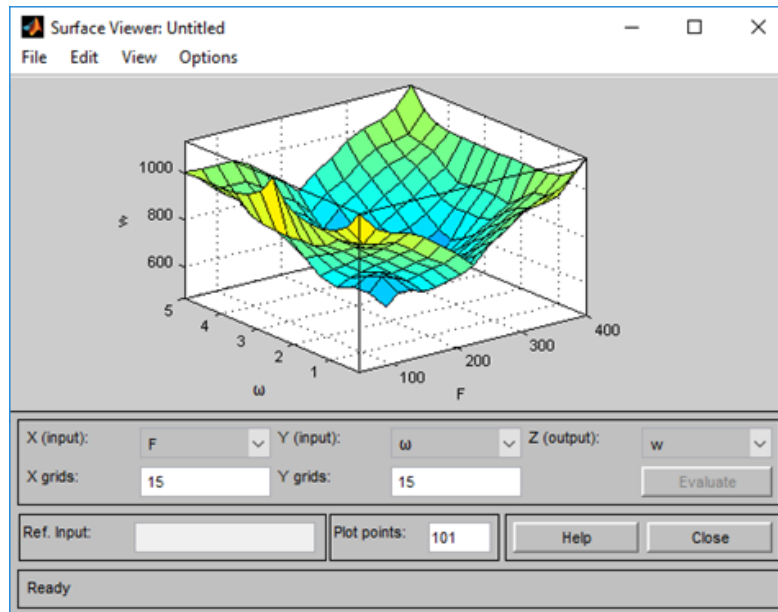


Рис. 1. Графік залежності $w(F, \omega)$

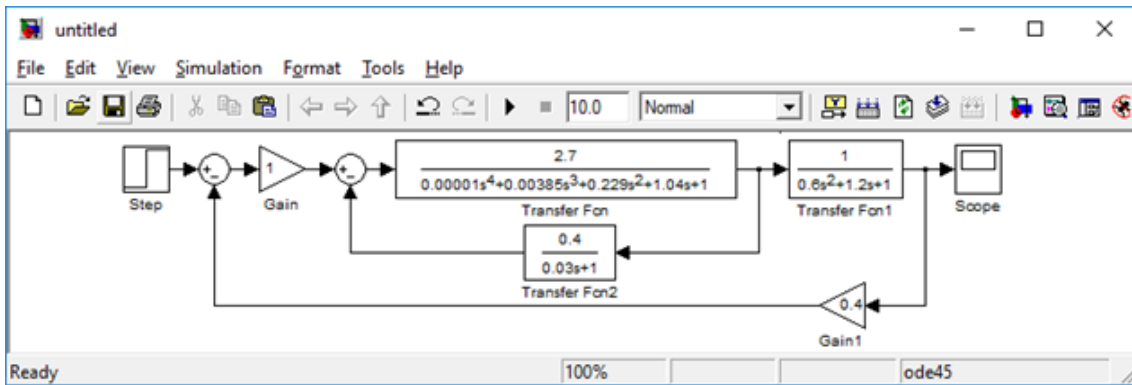
Авторська розробка

Використання запропонованої фазі-моделі питомих витрат енергії на буріння свердловин дозволить значно покращити ефективність функціонування системи підтримки процесів прийняття рішень щодо оптимізації управління даним технологічним процесом.

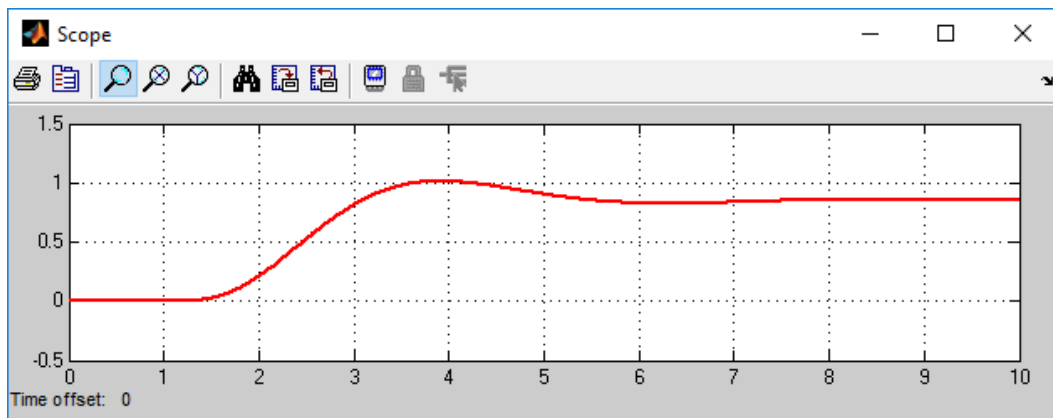
Автоматизована система управління процесом буріння електробурами, яку розглядаємо, передбачає використання однієї керувальної дії – осьового зусилля на долото F або потужності P двигуна електробура.

На першому етапі досліджено систему автоматичного регулювання осьового навантаження на долото, алгоритмічна структура якої наведена на рис.

2.



а)



б)

Рис. 5. Алгоритмічна структура системи автоматичного регулювання осьового навантаження на долото (а) та її перехідна характеристика (б)

Авторська розробка

Із рис. 2 бачимо, що якщо коефіцієнт передачі ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат» $K_{рб-кк} = 1$, то тривалість перехідного процесу складає 6,5 с, перерегулювання 7,5% і кількість періодів коливань $n = 1$. Зі збільшенням глибини свердловини, що супроводжується зростанням коефіцієнта передачі $K_{рб-кк}$, показники якості системи погіршуються (табл. 2).

Таблиця 2

Показники якості системи автоматичного регулювання осьового навантаження на долото залежно від коефіцієнта передачі ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат»

№	Коефіцієнт передачі ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат» (рб–кк)	Тривалість перехідного процесу, с	Перерегулювання, σ , %	Кількість періодів коливань n
1	1	6,5	7,5	1
2	2,2	10	37	2
3	2,8	14	47	3
4	3,4	17	50	4
5	4,4	30	71	7
6	4,8	35	77	8
7	5	45	85	13

Авторська розробка

Бачимо, що при $K_{\text{рб-кк}} \rightarrow 5$ показники системи регулювання осьового навантаження на долото різко погіршуються. Тому доцільно змінити структуру системи регулювання і перейти до автоматичного регулювання потужності на валі двигуна електробура.

На другому етапі досліджено і порівняно показники якості перехідних процесів алгоритмічної структури системи автоматичного регулювання потужності на валі двигуна електробура Е215-8М, яка відрізняється від системи, що зображена на рис. 25 лише зміною керованої величини. При цьому додатково у структуру введено функції передачі двигуна електробура

$$W_1(s) = \frac{12,5}{0,86s + 1} \text{ і давача активної потужності } W_2(s) = \frac{0,0005}{0,02s + 1}.$$

Показники якості у цьому випадку значно покращилися. Вони зберігаються і за більш високих значень коефіцієнта передачі механічної ланки «редуктор з барабаном лебідки – колона бурильних труб – канат».

Отже, зі збільшенням глибини свердловини, коли коефіцієнт передачі $K_{\text{рб-кк}}$ наближається до 5, доцільно змінити структуру системи автоматичного регулювання і перейти на автоматичне регулювання потужності на валі двигуна електробура.

Висновки.

1. Запропоновано метод трансформації автоматизованої системи управління процесом буріння свердловин у вигляді логічної структурної моделі

$M_{mp} = \{F = const \cup I = const \cup P = const\}$ і алгоритм його реалізації, який побудований на засадах бази правил Мамдані-типу, що дозволяє значно покращити ефективність функціонування системи підтримки процесів прийняття рішень щодо оптимізації управління даним процесом.

2. Виходячи із специфіки задач автоматичного регулювання режимів буріння нафтових і газових свердловин з урахуванням стохастично-хаотичних властивостей процесу, що розвивається у часі, досліджено показники якості системи автоматичного регулювання осьового навантаження на долото і потужності на валі двигуна електробура. Це дало змогу зробити висновок про доцільність із збільшенням глибини свердловини переходу на автоматичне регулювання потужності на валі двигуна електробура.

Література:

1. Алимбеков Р. И., Васильев В. И., Нугаев И. Ф., Агзамов В. В., Шулаков А. С. Компьютеризированные технологии управления бурением наклонно направленных скважин. *Нефтяное хозяйство*. 2000. №12. С. 120-122.
2. Нестерова Т. Н. Информационное обеспечение снижения рисков и затрат в бурении / Т. Н. Нестерова, С. Н. Чебинов // Бурение и нефть. – 2003. – №10. С. 39-41.
3. Закиров Н. Н. Влияние технологических параметров бурения скважин на механическую скорость и проходку на долото. Бурение и нефть. 2003. №6. С. 16-18.
4. Гасанов Р. А., Меджидов Г. Н., Алекперов Р. Б., Керимов К. С., Меджидов Н. А. Разработка автоматизированной системы для прогнозирования показателей бурения на основе нейронных моделей. *Нефтяное хозяйство*. 2001. №10. С. 40-42.
5. Гибадуллин Н. З., Лугуманов М. Г., Иконников И. И. Особенности геолог-технического контроля проводки скважин на депрессии с применением колтюбинговой технологии. *Каротажник*. 2013. №102. С. 45–48.

6. Шередко Ю. Л. Кібернетика розвитку. *3-rd International Conference on Computational Intelligence (ComInt 2015)*. CherkasyKyiv-Ukraine, 12-15 May 2015. С. 149-150.

7. Семенцов Г. Н., Копистинський Л. О. Система автоматизованого керування процесом буріння свердловин електробурами. *Телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології*: Збірка доповідей Міжрегіональної наук.-практ. конф. молодих учених, 16-17 листопада 2015. Красноармійськ, 2015. С. 197-199.

8. Копистинський Л. О., Семенцов Г. Н. Робастне і адаптивне керування технологічним процесом поглиблення свердловин електробурами. *Автоматизація, контроль та управління*: пошук ідей та рішень АКУ-2016, 23-27 травня 2016. Покровськ, 2016. С. 39-40.

Стаття відправлена: 07.05.2020 р.

© Кропивницька В.Б., Семенцов Г.Н., Фешанич Л.І., Копистинський Л.О.