



УДК 681.05.03

AUTOMATIC SYSTEM WITH VARIABLE STRUCTURE FOR CONTROLLING THE PROCESS OF DRILLING WELLS WITH ELECTRIC DRILLS

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН ЕЛЕКТРОБУРАМИ

Shavranskyi M.V. / Шавранський М.В.

ORCID: 0000-0001-6636-1069

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, I**vano-Frankivsk, Karpatskaya, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, 76019***Karpinets B.I. / Карпинець Б.І.***Burshtyn Energy Vocational College IFNTUNG, Burshtyn,**Ivano-Frankivsk region, Kaluska St., 4, 77111**Буриштинський енергетичний фаховий коледж ІФНТУНГ,**м. Буриштин, Івано-Франківська обл., вул. Калуська, 4, 77111***Dmytryk T.B. / Дмитрик Т.Б.***Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano-Frankivsk, Karpatskaya, 15, 76019*

Анотація. У роботі розглядається розробка автоматичної системи зі змінною структурою для керування процесом буріння свердловин електробурами. Запропонована система забезпечує адаптивне регулювання параметрів буріння залежно від змінних геологічних умов і технічного стану обладнання. Представлені результати моделювання та експериментальні дані підтверджують доцільність застосування запропонованої системи в сучасних умовах нафтової та газової промисловості та найбільш раціональною є структура, яка забезпечує автоматичну стабілізацію активної потужності двигуна електробура.

Ключові слова: система автоматичного керування, буріння свердловин електробурами, математична модель, оптимальне керування, двигун електробура.

Вступ.

Створення автоматичних систем керування зі змінною структурою для автоматизації процесу буріння нафтових і газових свердловин є актуальною науково-прикладною задачею у зв'язку із інтенсивним впровадженням новітніх технологій буріння глибоких свердловин на сланцевий газ. У наш час, коли ведеться буріння на сланцеві поклади, найкращим вибійним двигуном є електробур, найбільшою перевагою якого є можливість мати канал зв'язку для передачі інформації з вибою свердловини на поверхню.

Автоматизація подачі долота на вибій свердловини здійснюється системою зі змінною структурою за осьовим навантаженням на долото або за активною



складовою струму статора двигуна електробура, коли створюються умови для повного використання потужності електробура [1, 2].

Метою даної роботи є оцінка показників стійкості і робастності системи зі змінною структурою, що в використовуються для автоматичного керування режимами електробуріння.

Основний текст.

Відзначимо, що основними принциповими труднощами розробки алгоритмів і систем керування режимом буріння є те, що об'єкт керування – це складна система з невідомою змінною у часі динамічною характеристикою (рис. 1), а керувальні дії від системи керування і збурюючі впливи від вибою свердловини передаються із запізненням через протяжні хвилеводи. Отже, маємо модель процесу буріння типу MIMO (multi-input-multi-output).

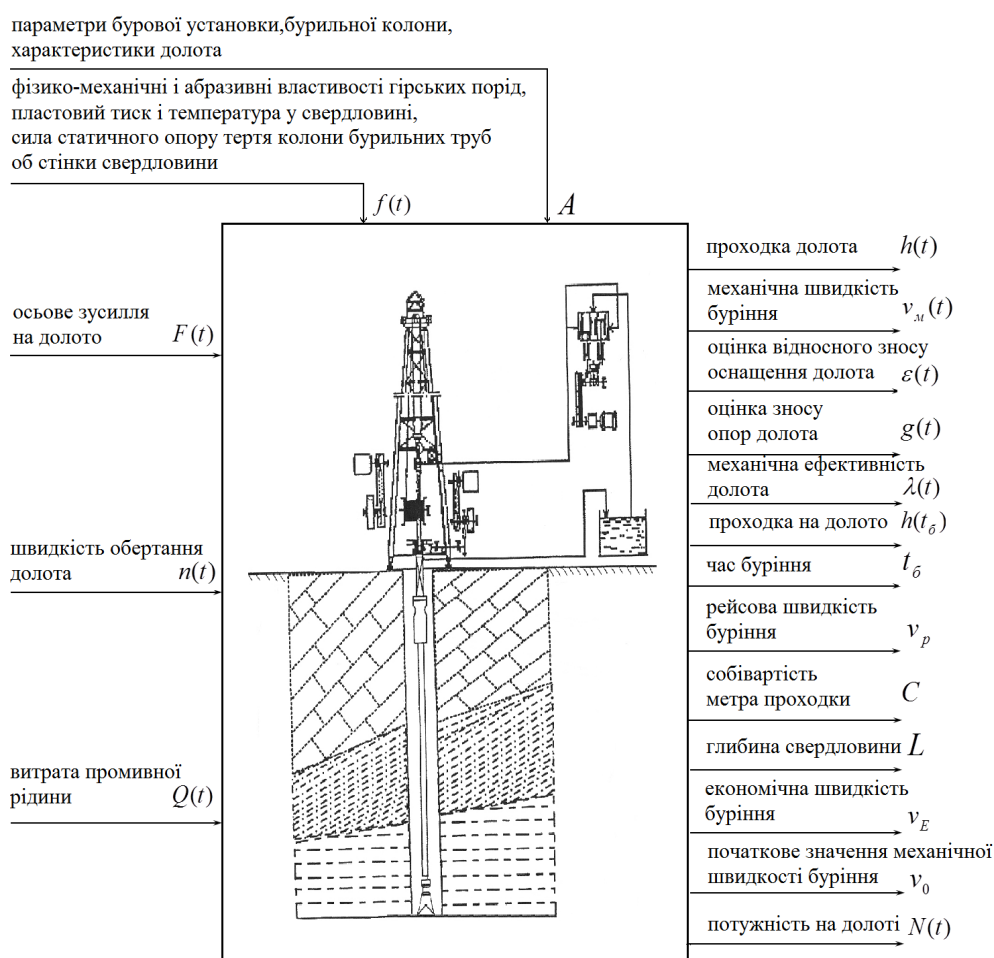
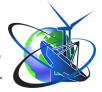


Рисунок 1 – Структура моделі технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин

Джерело [1]



Автоматизована система керування режимів буріння електробурами, що розглядається, передбачає використання однієї керувальної дії – осьового зусилля на долото $F(t)$ або струму статора двигуна електробура. Оскільки більш повною характеристикою завантаження двигуна електробура є активна потужність, у системі керування давач струму замінено здавачем активної потужності. Алгоритмічну структуру такої системи автоматичного керування зображено на рис. 2.

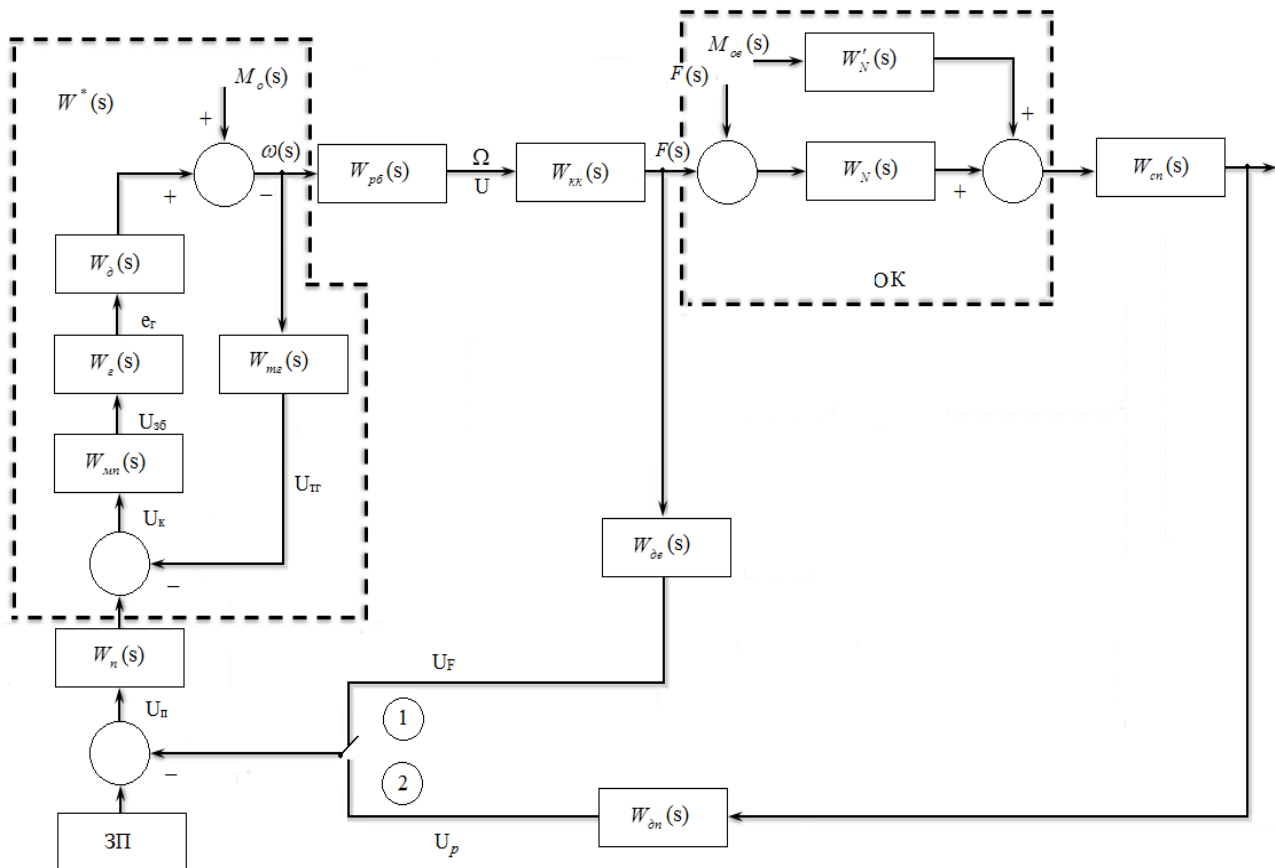
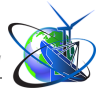


Рисунок 2 - Алгоритмічна структура системи автоматичного керування потужності електродвигуна

Джерело: [3]

Для алгоритмічної структури системи автоматичного керування потужності електродвигуна досліджено функцію передачі електробура як одного із елементів комплексної динамічної системи, що складається із колони бурильних труб довжиною 2500 м, струмопідводу електробура і вибою свердловини, а також передавальні функції окремих ланок системи автоматичного керування [3]:



Струмопідвід: $W_{cn}(s) = K_{cn}$.

Електробур: $W_N(s) = \frac{K_e}{T_e s + 1}$.

Система «колона бурильних труб-канат»: $W_{\kappa\kappa}(s) = \frac{K_{\kappa-\kappa}}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}$.

Редуктор з барабаном лебідки: $W_{p\bar{o}}(s) = K_{p-\bar{o}}$.

Електричний двигун системи Г-Д: $W_{\partial}(s) = \frac{K_{\partial}}{T_{\partial}^2 s^2 + T_{\partial} s + 1}$.

Електричний генератор системи Г-Д: $W_{\varepsilon}(s) = \frac{K_{\varepsilon}}{T_{\varepsilon} s + 1}$.

Магнітний підсилювач: $W_{mn}(s) = \frac{K_{mn}}{T_{mn} s + 1}$.

Напівпровідниковий підсилювач з формуючою ланкою: $W_n(s) = K_n$.

Давач потужності двигуна електробура: $W_{\partial n}(s) = \frac{K_{\partial n}}{T_{\partial n} s + 1}$.

Давач ваги (маси) інструменту: $W_{\partial \bar{e}}(s) = K_{\partial \bar{e}}$.

Тахогенератор: $W_{m\varepsilon}(s) = K_{m\varepsilon}$.

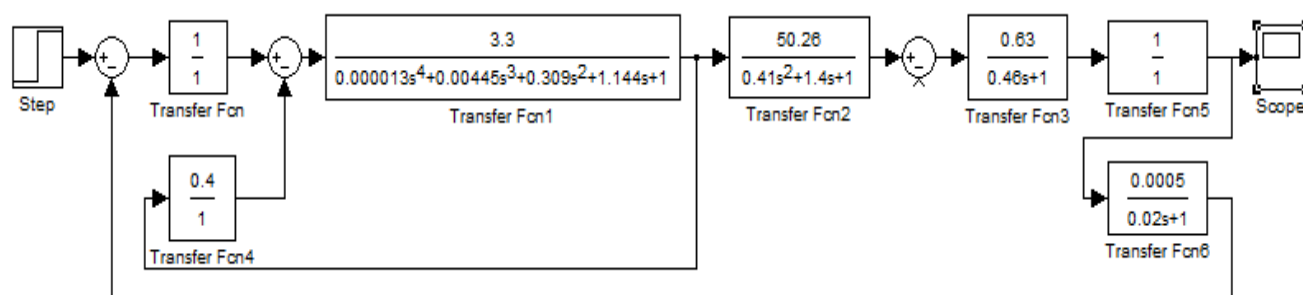
При детальнішому розгляді алгоритмічної структури системи автоматичного керування отримали таку алгоритмічну структуру (рис. 3).

Спрощуючи дану алгоритмічну структуру, знайшли загальну передавальну функцію для робастної автоматичної системи керування з перемикачем у положенні 2 та частотні характеристики за допомогою програмного продукту MathLab (рис. 4).

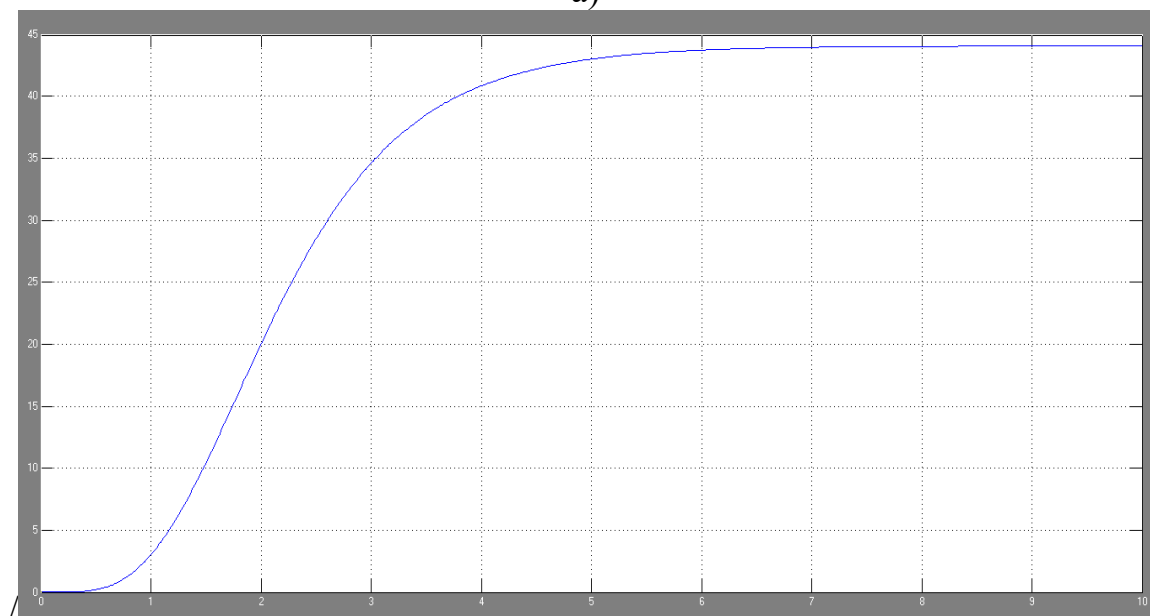
```
>> bodeplot(w);figure(gcf);
```

За допомогою програми MathLab і вкладки Workspace побудували також амплітудно-фазову характеристику, яка зображена на рис. 5.

```
>> nyquistplot(w);figure(gcf);
```



а)



б)

Рисунок 3 – Алгоритмічна структура робастної системи автоматичного керування (перемикач у положенні 2) (а) і її перехідна характеристика (б)
Джерело: [2]

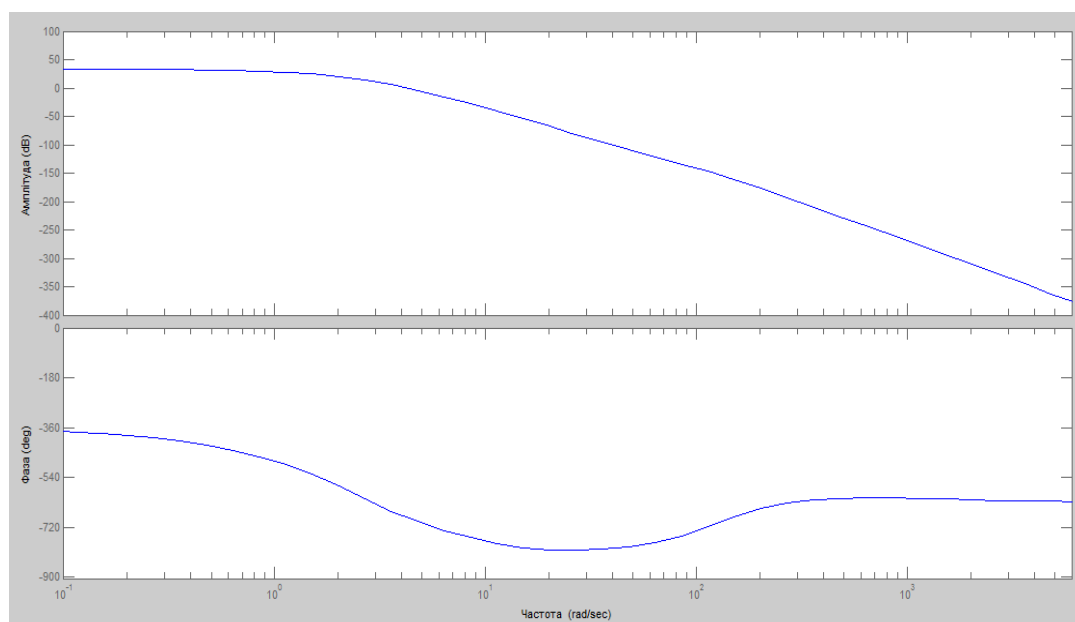


Рисунок 4 – АЧХ та ФЧХ для робастної автоматичної системи керування з перемикачем у положенні 2

Джерело: [3]

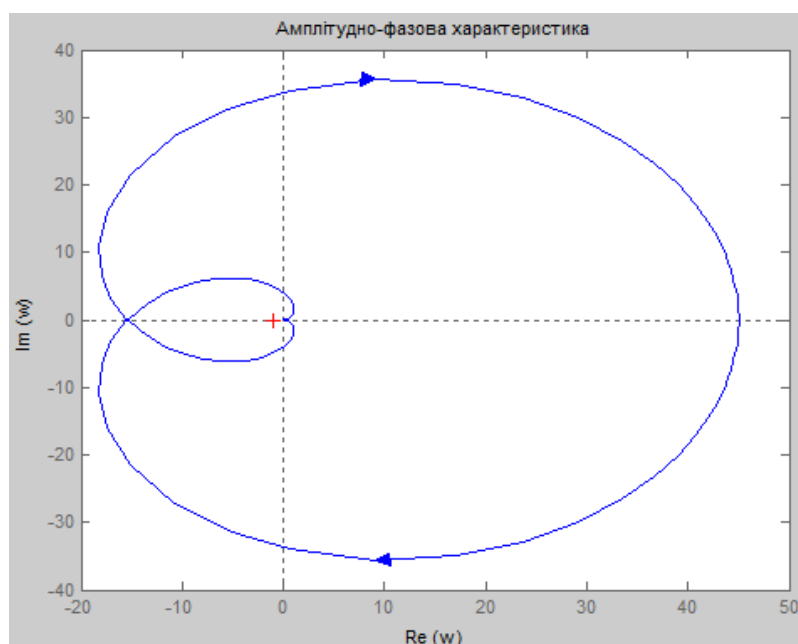


Рисунок 5 – Амплітудно-фазова характеристика (АФХ) для робастної автоматичної системи керування з перемикачем у положенні 2

Джерело: [3]

За допомогою програми MathLab і вкладки Workspace побудували імпульсну характеристику (рис.6).

```
>> impulseplot(w);figure(gcf);
```

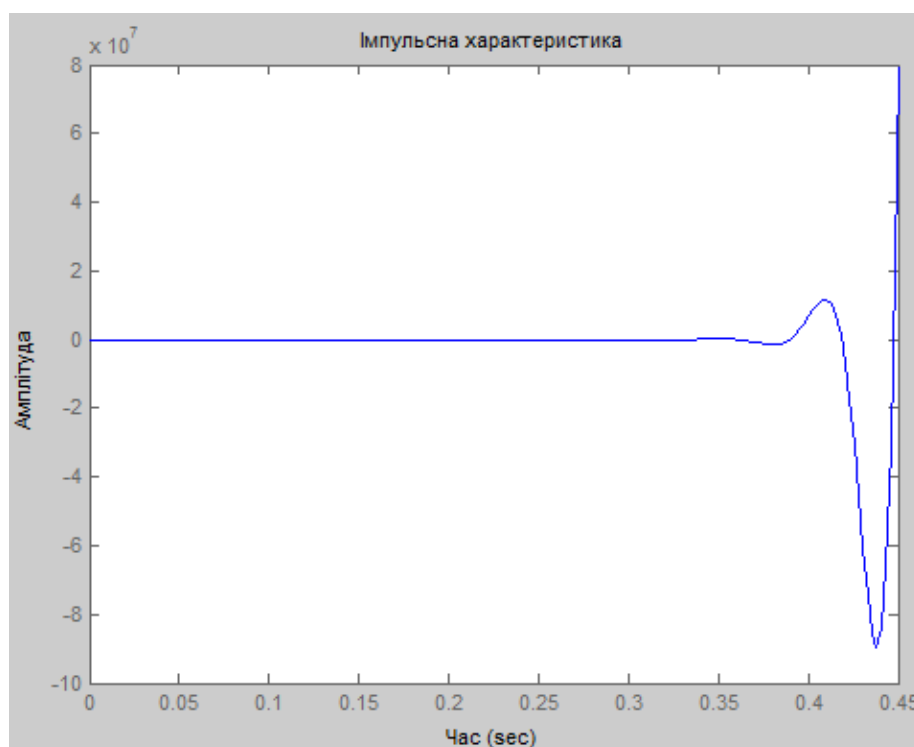


Рисунок 6 – Імпульсна перехідна характеристика для робастної автоматичної системи керування з перемикачем у положенні 2

Джерело: [3]



За допомогою програми MathLab і вкладки Workspace побудували логарифмічну амплітудно-частотну (ЛАЧХ) та логарифмічну фазочастотну характеристики (ЛФЧХ) (рис.7).

```
>> bode(w);grid;
```

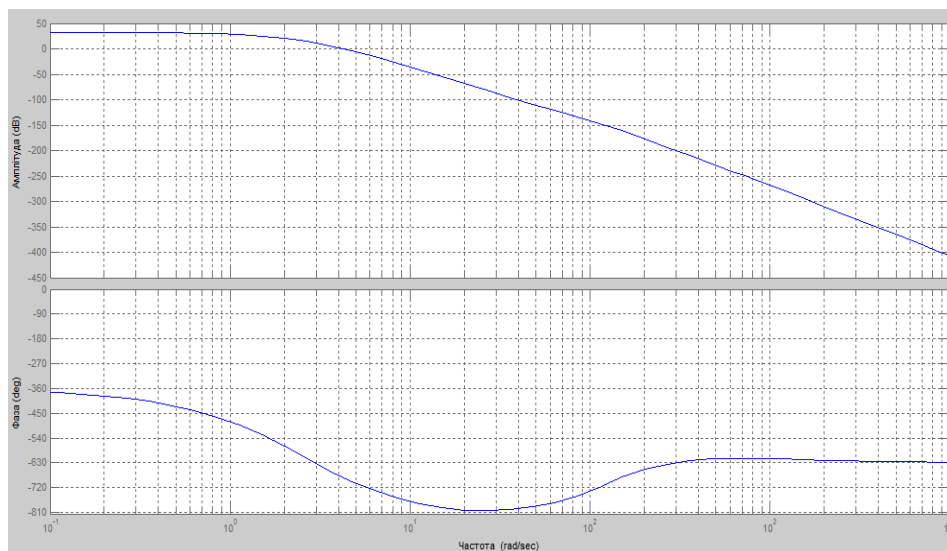


Рисунок 7 – ЛАЧХ та ЛФЧХ для робастної автоматичної системи керування з перемикачем у положенні 2

Джерело: [3]

Висновок.

На основі аналізу стійкості і показників якості системи автоматичного регулювання процесом буріння глибоких свердловин електробурами, яка має змінну структуру, доведено, що найбільш раціональною є структура, яка забезпечує автоматичну стабілізацію активної потужності двигуна електробура. Система у цьому випадку є робастною за показниками запасу стійкості та коливальності.

Література:

1. Діхтяренко К.В. Перспектива відродження електробуріння / К.В. Діхтяренко, В.П. Червінський // Нафта і газ України: матеріали 9-ої міжнар. наук.-практич. конф. «Нафта і газ України – 2013», м. Яремча, 4-6 вересня 2013 р. – Л.: «Центр Європи», 2013. – С.59-60.
2. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов // Івано-Франківськ: Факел, 2003 – 493 с.



3. Семенцов Г.Н. Автоматизація неперервних технологічних процесів: [навч. посібн.]. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2016. 201 с.

4. Електробури. Загальні технічні умови. ДСТУ 3258-12. К.: Держстандарт України, 2012. – 25 с.

Abstract. *The paper considers the development of an automatic system with a variable structure for controlling the process of drilling wells with electric drills. The proposed system provides adaptive regulation of drilling parameters depending on variable geological conditions and technical condition of the equipment. The presented modeling results and experimental data confirm the feasibility of using the proposed system in modern conditions of the oil and gas industry and the most rational structure is one that provides automatic stabilization of the active power of the electric drill engine.*

Keywords: *automatic control system, electric drill drilling, mathematical model, optimal control, electric drill engine.*

Стаття відправлена: 07.04.2025 р.

© Шавранський М.В., Карпінець Б.І., Дмитрик Т.Б.