

## СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ЦИФРОВОГО ЛОГІЧНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПІДТРИМАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМІ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ БУРІННЯМ СВЕРДЛОВИН ЕЛЕКТРОБУРАМИ

Л. О. Копистинський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (097) 7132238  
e-mail: kafatp@ukr.net

*Запропоновано структуру цифрового логічного пристрою для задачі підтримки процесів прийняття рішень у системі адаптивного управління бурінням свердловин електробурами. Встановлено контрольовані параметри, що найбільш повно характеризують процес переходу електробура на таку ділянку похило-скерованих свердловин, коли покази давача ваги бурильного інструменту не дозволять контролювати осьове навантаження на долото. Розроблено логічну функцію блоку адаптації структури логічного пристрою для системи управління електробурінням. Синтезовану структурну схему блоку адаптації на елементах базису «І», «АБО», «НЕ».*

Ключові слова: логічний пристрій, прийняття рішення, структура, адаптивне управління, електробуріння.

*Предложена структура цифрового логического устройства задачи поддержки процессов принятия решений в системе адаптивного управления бурением скважин электробур. Установлены контролируемые параметры, которые наиболее полно характеризуют процесс перехода электробура на такой участок наклонно-направленных скважин, когда показания датчика веса бурильного инструмента не позволят контролировать осевую нагрузку на долото. Разработана логическую функцию блока адаптации структуры логического устройства системы управления электробурением. Синтезированной структурную схему блока адаптации на элементах базиса «И», «ИЛИ», «НЕ».*

Ключевые слова: логическое устройство, принятия решения, структура, адаптивное управление, электробурение.

*The structure of the digital logic device to support the decision making processes in the system of adaptive control of electric drilling is proposed. The controlled parameters are established that most fully characterize the process of switching electric drill to such a section of sloping wells, when the sensor value of the drilling tool weight will not allow controlling the axial load on the bit. The logic function of the adaptation unit for the structure of the logical device for the system of electric drilling is developed. The structural diagram of the adaptation unit on elements of the basis "I", "OR", "NOT" is synthesized.*

Keywords: logic device, decision making, structure, adaptive control, electrodrilling.

**Постановка проблеми.** За роки застосування електробуріння всього було пробурено 12,5 млн. метрів електробурами Харківського заводу «Потенціал» [1]. Порівняно з бурінням гідравлічними двигунами, найбільш повно використовується гідравлічна потужність насосів, яка передається на вибій тільки для промивання. Водночас покращуються умови очищення свердловин від вибуреної породи, збільшується механічна швидкість та проходка на долото. На сучасному етапі, коли ведеться буріння на сланцеві поклади, кращого вибійного двигуна за електробур не існує, тому що на порядок збільшується необхідність у бурінні горизонтальних ділянок стволів. При цьому виникає необхідність у зміні структури системи управління з метою переходу від регулювання осьового навантаження на долото до регулювання струму навантаженням двигуна електробура або активної потужності. Для забезпечення бурильника інформаційною системою процесів прийняття рішень щодо зміни регульованого параметра, необхідно мати блок адаптації системи у вигляді логічного пристрою, який дозволить адаптуватися до мінливості та динамічності зовнішнього середовища і підвищити ефективність процесу поглиблення свердловин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Визначенню головних принципів засад автоматизованого управління процесом буріння свердловин електробурами присвячені здебільшого праці учених з України, серед яких Бунчак З., Галушак І.Д., Гладь І.В., Горбійчук М.І., Діхтяренко К.В., Дудар О.С., Заміховський Л.М., Кекот О., Семенцова А.О., Турянський О.А., Федорів М.Й., Фоменко Ф.Н., Червінський В.П. І це не є дивним, адже саме в Україні у 1909 р. [2] був створений перший електробур і саме на Харківському заводі «Потенціал» сьогодні виготовляють електробури усіх типів. Водночас, певні аспекти автоматизованого управління електробурінням висвітлено закордонними науковцями [3, 4]. Однак у зазначених дослідженнях розглядаються лише окремі теоретичні засади управління електробурінням. Не дослідженими залишаються питання адаптації процесу до змін умов буріння і визначення необхідних керувальних дій на основі поточної інформації про процес буріння.

**Метою статті** є синтез структури цифрового пристрою для задач підтримання процесів прийняття рішень в умовах невизначеності процесу буріння.

**Основні результати дослідження.** Синтез структури блока адаптації, призначеного для використання в адаптивній системі керування бурінням похило-скерованих свердловин електробурами, здійснюємо використовуючи один із методів синтезу цифрових логічних пристроїв [5], а саме діаграму Вейча.

Аналіз показників процесу буріння свердловин електробурами [6] дозволив вибрати п'ять параметрів, що найбільш повно характеризують процес переходу електробура на таку ділянку похило-скерованої свердловини, коли покази давача ваги бурильного інструменту не дозволяють контролювати осьове навантаження на долото. Вони створюють такий тезаурус

$$\langle V_m = \frac{\Delta h}{\Delta t}, F, A, \gamma, P \rangle, \quad (1)$$

де  $\Delta h$  – проходка на долото за час  $\Delta t$ ;  
 $V_m$  – механічна швидкість буріння;  
 $F$  – осьове навантаження на долото;  
 $A$  – азимут;  
 $\gamma$  – кут нахилу свердловини;  
 $P$  – активна потужність, яку споживає двигун електробура.

Усі ці параметри мають брати участь у формуванні керувальної дії в адаптивній системі керування або самостійно, або разом з іншими параметрами.

Використовуючи тезаурус (1), побудуємо структуру блока адаптації у вигляді логічного цифрового пристрою. Синтез такої однотактною системи керування зводиться до складання структурної формули, що описує логічні функції, які має виконувати блок адаптації.

Отже, необхідно задати деякі логічні функції, комбінація яких дасть змогу отримати логічну функцію для блока адаптивного керування бурінням свердловин електробурами

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5),$$

де  $x_1 = V_m = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ ;  $x_2 = F$ ;  $x_3 = A$ ;  $x_4 = \gamma$ ;  
 $x_5 = P$ .

Сама логічна функція  $f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  та її аргументи можуть набувати лише двох значень: 0 або 1.

Такі способи задання функцій алгебри логіки, як словесний, матричний, графічний, алгебраїчний, координатний, числовий, графовий [7] способи не завжди зручні для повного представлення усіх зв'язків між логічною функцією і аргументами. Тому для синтезу логічної функції застосуємо метод діаграм Вейча, що ґрунтується на графічному представленні комбінацій аргументів і є практично придатним для зображення бульових функцій до п'яти-семи змінних [7].

Процес синтезу логічної функції методом діаграм Вейча складається з таких етапів [7]:

- формулювання умов роботи пристрою;
- вибір вхідних і вихідних логічних змінних;

- складання діаграми Вейча, що відображає зв'язки між вхідними  $x_i$  і вихідною  $y$  змінною, де  $i$  – кількість вхідних змінних;

- отримання аналітичного виразу функції  $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ ;

- побудова логічної схеми пристрою (блока);
- побудова принципової електричної схеми пристрою (блока).

Для розв'язання задачі синтезу керувального пристрою блока адаптивного керування скористаємося тезаурусом (1) інформативних параметрів.

Оскільки кількість аргументів  $n = 5$ , то існує  $N = 2^n$  комбінацій аргументів або наборів, які матимуть номери від 0 до  $2^n - 1$ . Отже, існує  $N = 2^n = 32$  наборів, номери яких будуть  $0, 1, 2, \dots, 31$ .

Умови роботи пристрою сформуємо так: спрацювання блока адаптації має відбуватись у тому випадку, коли сигнал 1 з'являється одночасно більше ніж на одному із 5 входів  $x_i$ . Стан виконавчого елемента  $Y$  залежить лише від точних значень вхідних сигналів  $x_i$ .

Введемо такі вхідні змінні:

$$v_m = \frac{\Delta h}{\Delta t} \rightarrow x_1 \begin{cases} 1 - \text{сигнал від давача механічної швидкості буріння} \\ \text{нижчий від порогового значення;} \\ 0 - \text{сигнал від давача механічної швидкості буріння} \\ \text{вищий від порогового значення.} \end{cases}$$

$$F \rightarrow x_2 \begin{cases} 1 - \text{сигнал від давача осьового навантаження на долото} \\ \text{нижчий від порогового значення;} \\ 0 - \text{сигнал від давача осьового навантаження на долото} \\ \text{вищий від порогового значення.} \end{cases}$$

$$A \rightarrow x_3 \begin{cases} 1 - \text{сигнал від давача азимуту} \\ \text{вищий від порогового значення;} \\ 0 - \text{сигнал від давача азимуту} \\ \text{нижчий від порогового значення.} \end{cases}$$

$$\gamma \rightarrow x_4 \begin{cases} 1 - \text{сигнал від давача кута нахилу} \\ \text{вищий від порогового значення;} \\ 0 - \text{сигнал від давача кута нахилу} \\ \text{нижчий від порогового значення.} \end{cases}$$

$$P \rightarrow x_5 \begin{cases} 1 - \text{сигнал від давача активної потужності} \\ \text{нижчий від порогового значення;} \\ 0 - \text{сигнал від давача активної потужності} \\ \text{вищий від порогового значення.} \end{cases}$$

$$Y = \begin{cases} 1 - \text{керуювальний пристрій блока} \\ \text{адаптивного керування увімкнений;} \\ 0 - \text{керуювальний пристрій блока} \\ \text{адаптивного керування вимкнений.} \end{cases}$$

Діаграму Вейча для логічної функції  $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ , що відповідає сформульованим умовам, наведено на рис. 1.

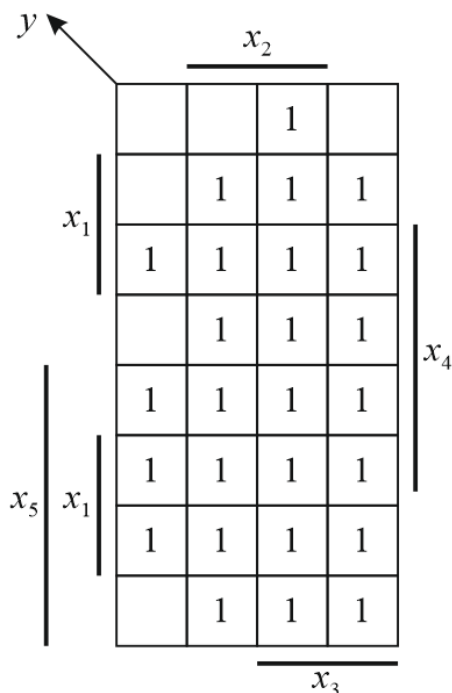


Рисунок 1 – Діаграма Вейча логічної функції п'ятьох змінних, що відповідає умовам сформульованої задачі для блока адаптації

У комірках діаграми Вейча як координатної карти станів, які потрапляють на площі одиничних значень двох, трьох, чотирьох та п'яти змінних  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ , записані одиниці. Комірка залишається незаповненою, якщо значення функції при цьому наборі дорівнюють нулю. Оскільки діаграму Вейча складено за умов спрацювання блока адаптації, то логічна функція має бути записана у мінімальній диз'юнктивній формі (рис. 2).

Отже, на основі сформованої логічної функції можна сформулювати правило  $R$  типу ЯКЩО ... ТО ...:

$$\begin{aligned}
 Y = & (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge \neg x_5) \vee (x_1 \wedge x_2 \wedge \neg x_3 \wedge \neg x_4 \wedge \neg x_5) \vee (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge \neg x_5) \vee \\
 & (x_1 \wedge \neg x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge \neg x_5) \vee (x_1 \wedge \neg x_2 \wedge \neg x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5) \vee (x_1 \wedge x_2 \wedge \neg x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5) \vee \\
 & (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5) \vee (x_1 \wedge \neg x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5) \vee (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5) \vee \\
 & (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5) \vee (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge \neg x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5) \vee (\neg x_1 \wedge \neg x_2 \wedge \neg x_3 \wedge x_4 \wedge x_5) \vee \\
 & (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge \neg x_3 \wedge x_4 \wedge x_5) \vee (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge x_5) \vee (\neg x_1 \wedge \neg x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge x_5) \vee \\
 & (x_1 \wedge \neg x_2 \wedge \neg x_3 \wedge x_4 \wedge x_5) \vee (x_1 \wedge x_2 \wedge \neg x_3 \wedge x_4 \wedge x_5) \vee (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge x_5) \vee \\
 & (x_1 \wedge \neg x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge x_5) \vee (x_1 \wedge \neg x_2 \wedge \neg x_3 \wedge \neg x_4 \wedge x_5) \vee (x_1 \wedge x_2 \wedge \neg x_3 \wedge \neg x_4 \wedge x_5) \vee \\
 & (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge x_5) \vee (x_1 \wedge \neg x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge x_5) \vee (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge \neg x_3 \wedge \neg x_4 \wedge x_5) \vee \\
 & (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge x_5) \vee (\neg x_1 \wedge \neg x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge x_5),
 \end{aligned}$$

де  $\vee$  – логічне АБО;  $\wedge$  – логічне І;  $\neg$  – логічне НІ.

Рисунок 2 – Логічна функція діаграми Вейча

$$\begin{aligned}
 R: \text{ЯКЩО } & (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge \neg x_5) \vee \\
 & (x_1 \wedge x_2 \wedge \neg x_3 \wedge \neg x_4 \wedge \neg x_5) \vee \\
 & (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge \neg x_5) \vee \\
 & (x_1 \wedge \neg x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge \neg x_5) \vee \\
 & (x_1 \wedge \neg x_2 \wedge \neg x_3 \wedge x_4 \wedge \neg x_5) \vee \dots \vee \\
 & (\neg x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge x_5) \vee \\
 & (\neg x_1 \wedge \neg x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_4 \wedge x_5) \text{ ТО}
 \end{aligned}$$

керувальний блок адаптації має змінити структуру системи керування шляхом переходу від контура автоматичної стабілізації осьового навантаження на долото до контура автоматичної стабілізації потужності на долоті.

Наступним кроком є побудова логічної схеми блока адаптації відповідно до аналітичного виразу логічної функції  $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ .

Структурна схема блока адаптації на елементах базису І, АБО, НІ наведена на рис. 3.

Розроблені алгоритми функціонування і структури блоків адаптації для вертикальних і похило-скерованих свердловин дозволяють перейти до синтезу структури адаптивної системи керування процесом буріння свердловини електробурами.

### Висновки

На засадах методів алгебри логіки і діаграм Вейча розроблено правила зміни структури блока адаптації, за яких система керування набуває властивості пристосовуватися до мінливості параметрів та характеристик електробура і навколишнього середовища, що дозволило синтезувати структурні схеми блока адаптації на елементах базису І, АБО, НІ. Використання розробленого цифрового пристрою для підтримання процесів прийняття рішень у системі адаптивного управління процесом буріння свердловин електробурами суттєво зменшить витрати на розроблення програмного забезпечення щодо вирішення складної проблеми адаптації процесу до змін умов буріння.

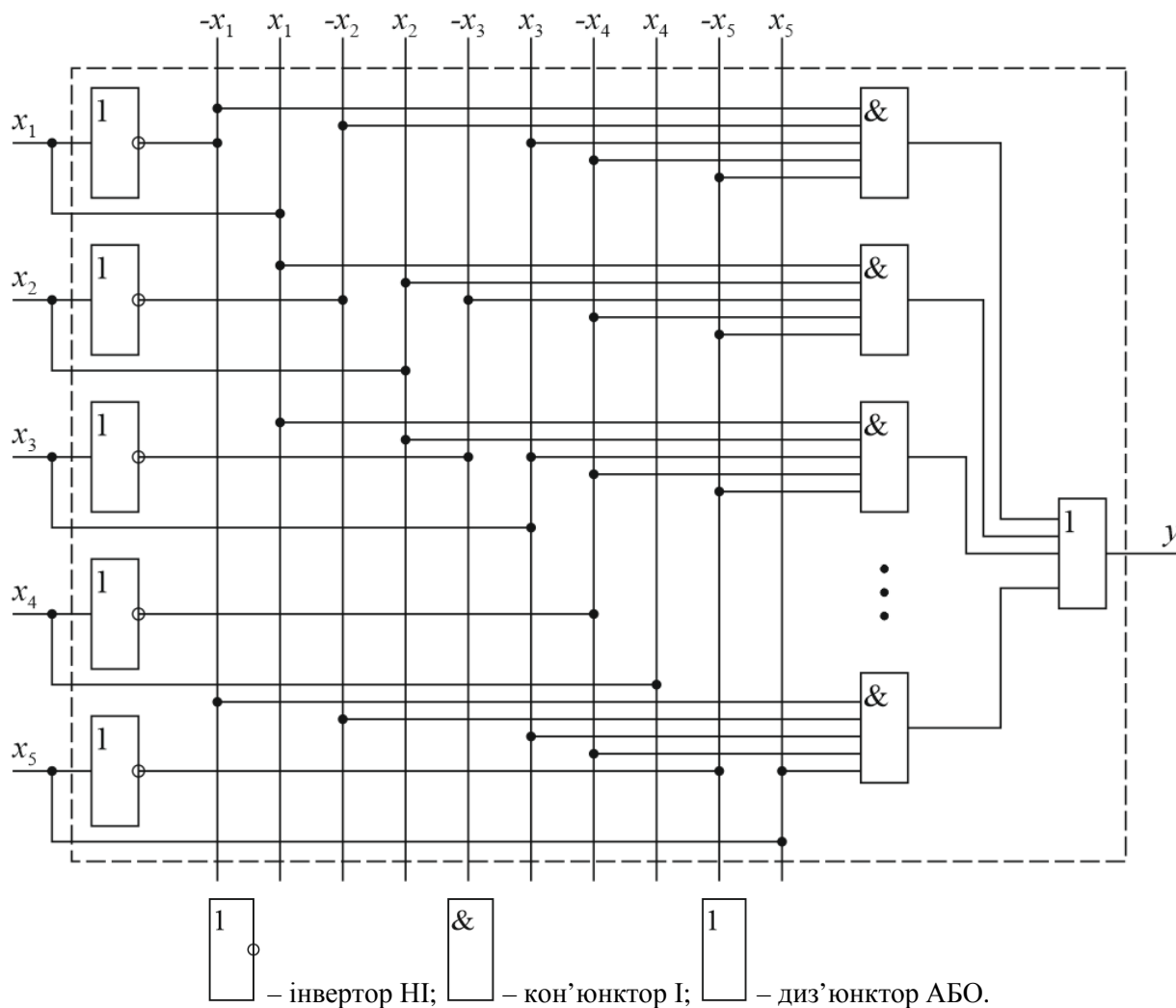


Рисунок 3 – Структурна схема блока адаптації на елементах базису І, АБО, НІ

**Література**

1 Електробури. Руководство по эксплуатации. А03П.610106.001РЭ. – Харьков: ОАО завод «Потенциал», 2002. – 70 с.  
 2 Фоменко Ф. Н. Бурение скважин электробуром / Ф. Н. Фоменко. – Москва: Недра, 1974. – 272 с.  
 3 Балденко Ф. Д. Автоматизированные системы управления режимом бурения скважин забойными двигателями / Ф. Д. Балденко, А. П. Шмидт // Бурение и нефть. – 2003. – №4. – С. 14-17.  
 4 Шмидт А. П. Перспективы применения автоматизированной системы управления режимом бурения в установках с непрерывной колонной гибких труб (coiled tubing) / А. П. Шмидт, Ф. Д. Балденко, Н. А. Шмидт // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – №12. – С. 7-8.  
 5 Дурняк Б.В. Основы проектирования цифровых логических устройств: [навч. посіб] / Б. В. Дурняк, І. Т. Стрепко, Г. Н. Тітов, О. В. Тимченко. – Львів: Вид-во УАД, 2006. – 273 с.

6 Копистинський Л. О. Управління процесом буріння з інтелектуальною підтримкою процесів прийняття рішень / Л. О. Копистинський // XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика – 2017» (м. Київ, 13-16 вересня 2017). – Київ, 2017. – С. 155-156.

7 Смирнов И. Н. Синтез систем управления на логических элементах / И. Н. Смирнов. – Ленинград: Изд. Лен. ун-та, 1975. – 368 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 26.10.17

Рекомендована до друку професором **Семенцовим Г.Н.** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) д-ром техн. наук **Лопатіним В.В.** (Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро)