

## ВИКОРИСТАННЯ МАРКОВСЬКИХ МОДЕЛЕЙ У ВИЗНАЧЕННІ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОБУРОВОГО ОБЛАДНАННЯ

*Визначено ймовірності роботи, аварійного простою та планового простою комплексу занурюваного електробурового обладнання у функції від часу з використанням створеної марковської моделі надійності цього обладнання.*

### Вступ

Наявність на території України значної кількості науково обґрунтованих прогнозованих запасів високоякісної нафти з низьким вмістом сірчаних сполук, постійний ріст потреби в нафтопродуктах вимагають подальшого розвитку нафтовидобувної галузі. Перспективним в цьому плані є Східно-карпатський нафтоносний район, а саме Долинські родовища нафти. Однак видобування вуглеводнів в Прикарпатських районах супроводжується низкою труднощів, оскільки потрібно враховувати складні геологічні умови родовищ і велику глибину залягання запасів нафти [1]. З цією метою доцільно здійснювати спорудження горизонтально-розгалужених та похило-спрямованих свердловин. Як свідчить світова практика, оптимальним і перспективним способом буріння таких свердловин є електробуріння [2].

Проте сьогодні потенційні можливості електробуріння не можуть бути реалізовані повністю через низький рівень надійності бурового обладнання. Для вирішення цієї проблеми необхідно володіти інформацією про показники надійності роботи обладнання, на основі чого приймати раціональні рішення щодо забезпечення та підвищення рівня надійності. З метою визначення основних показників надійності обладнання слід використати моделювання, яке дасть можливість врахувати властивості елементів системи та взаємозв'язок між ними [3].

*Метою роботи* є визначення ймовірностей перебування у різних станах системи електробурового обладнання з урахуванням аварійних простоїв та профілактичних простоїв елементів з використанням марковських моделей.

### Основна частина

Комплекс електробурового обладнання містить складові, які експлуатуються на поверхні Землі, і складові, які знаходяться безпосередньо в свердловині, тобто занурюване обладнання. На надійність функціонування наземного обладнання впливають в основному чинники довкілля та параметри електричної мережі (середній час напрацювання на відмову складає для станції керування близько 355 год, для бурового трансформатора — 1560 год.). Експлуатація занурюваного обладнання відбувається у важких умовах (висока температура навколишнього середовища, постійне перебування в буровому розчині, наявність порід різної твердості тощо), що зумовлює малий ресурс напрацювання на відмову цього обладнання (близько 40 год. для пристрою контролю ізоляції та телеметричної системи, 21 год. — для двигуна електробура, 16 год. — для кабельної секції) [4].

Оскільки сукупність електробурового обладнання утворює послідовне логічне з'єднання, то відмова хоча б одного елемента спричинить відмову цілої системи. Ефективним методом аналізу надійності такої системи є концепція простору станів. Суть цього методу полягає в тому, що процеси напрацювання та ремонту системи є сукупністю множини станів, в яких можуть перебувати складові елементи. Стани з'єднуються логічними зв'язками, за якими об'єкт випадково може переходити із одного стану в інший внаслідок зміни стану складового елемента [5, 6]. Всі можливі стани системи утворюють простір станів. Основною перевагою методу простору станів є можливість застосування у більшості випадків для опису процесу переходів системи зі стану в стан моделі Маркова, яка описується диференціальними рівняннями Колмогорова [5, 6].

З метою застосування методу простору станів та моделі Маркова для аналізу надійності електробурового комплексу сформулюємо такі припущення: всі елементи комплексу є незалежними та статистично ідентичними; всі елементи є ремонтпридатними або можуть бути замінені на буро-

вій установці; інтервали часу між послідовними подіями описуються експоненціальним законом розподілу, тобто розглядаємо стаціонарний, налагоджений режим роботи обладнання; в початковий момент аналізу всі елементи перебувають у робочому стані; всі можливі стани системи утворюють повну групу подій. Слід зазначити, що під час аналізу надійності електробурового комплексу до уваги беремо тільки занурюване обладнання з малим ресурсом напрацювання на відмову.

Система електробурового обладнання може перебувати у стані роботи 1, у стані аварійного простою та відновлення  $i$ -го елемента  $0_i$ , в стані планового простою для профілактичного обслуговування чи ремонту  $j$ -го елемента  $2_j$ . Розглядаємо з'єднання елементів у такій послідовності: 1 — пристрій контролю ізоляції (ПКІ), 2 — телеметрична система (ТС), 3 — кабельна секція (КС), 4 — двигун електробура (ЕБ). Математичну модель описуємо системою диференціальних рівнянь Колмогорова:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1}{dt} = -\left( \sum_{i=1}^4 \lambda_i + \sum_{j=1}^4 \lambda_{плj} \right) P_1 + \sum_{i=1}^4 \mu_i P_{0_i} + \sum_{j=1}^4 \mu_{плj} P_{2_j}; \\ \frac{dP_{0_1}}{dt} = -\mu_1 P_{0_1} + \lambda_1 P_1; \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_{0_4}}{dt} = -\mu_4 P_{0_4} + \lambda_4 P_1; \\ \frac{dP_{2_1}}{dt} = -\mu_{пл1} P_{2_1} + \lambda_{пл1} P_1; \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_{2_4}}{dt} = -\mu_{пл4} P_{2_4} + \lambda_{пл4} P_1, \end{array} \right. \quad (1)$$

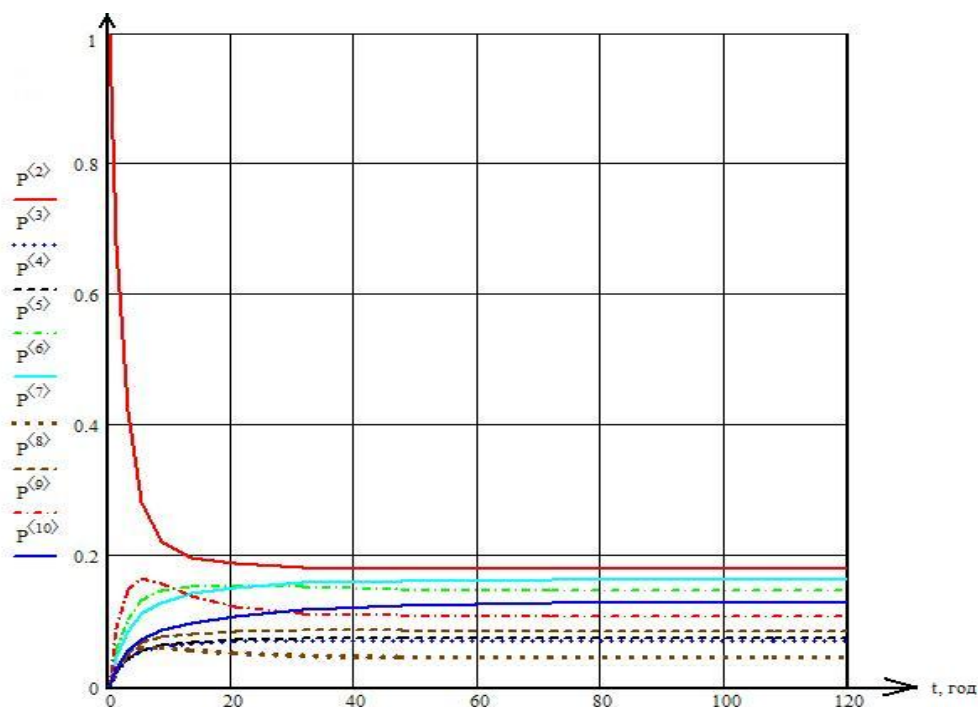
де  $\lambda_i, \lambda_{плj}$  — інтенсивність аварійних та планових вимкнень, які переводять  $i$ -й елемент в стан  $0_i$  або  $j$ -й елемент в стан  $2_j$ , відповідно;  $\mu_i, \mu_{плj}$  — інтенсивність відновлення і закінчення планового обслуговування, які переводять  $i$ -й елемент або  $j$ -й елемент в стан 1;  $P_1$  — ймовірність робочого стану системи;  $P_{0_i}$  — ймовірність аварійного простою та відновлення  $i$ -го елемента;  $P_{2_j}$  — ймовірність планового простою та відновлення  $j$ -го елемента.

Для проведення розрахунків використовуємо реальні дані, отримані з аналізу роботи свердловин Прикарпатського УБР, які наведені у таблиці.

**Значення вихідних параметрів**

№	Обладнання	Інтенсивність відмов $\lambda$ , 1/год	Інтенсивність планових вимкнень $\lambda_{пл}$ , 1/год	Інтенсивність відновлень $\mu$ , 1/год	Інтенсивність планових відновлень $\mu_{пл}$ , 1/год
1	ПКІ	0,024	0,03125	0,0625	0,125
2	ТС	0,0241	0,0294	0,0588	0,0625
3	КС	0,0605	0,1	0,074	0,167
4	ЕБ	0,0476	0,03	0,0526	0,0417

Розв'язки системи рівнянь (1) отримуємо з використанням середовища Mathcad. Результати розрахунків подані на рисунку у вигляді графічних залежностей ймовірностей у функції від часу ().



Залежність ймовірностей від часу:

$$\begin{aligned}
 P^{(2)} & \text{ – крива } P_1 = f(t); & P^{(3)} & \text{ – крива } P_{0_1} = f(t); & P^{(4)} & \text{ – крива } P_{0_2} = f(t); \\
 P^{(5)} & \text{ – крива } P_{0_3} = f(t); & P^{(6)} & \text{ – крива } P_{0_4} = f(t); & P^{(7)} & \text{ – крива } P_{2_1} = f(t); & P^{(8)} & \text{ – крива } P_{2_2} = f(t); \\
 P^{(9)} & \text{ – крива } P_{2_3} = f(t); & P^{(10)} & \text{ – крива } P_{2_4} = f(t)
 \end{aligned}$$

### Висновок

Основні показники надійності електробурового обладнання визначені на основі реальних статистичних даних з Долинського нафтового родовища з використанням розробленої марковської моделі. Проведені розрахунки дали можливість отримати залежності ймовірності працездатного стану системи, ймовірностей аварійного простою та відновлення  $i$ -го елемента та ймовірностей планового простою  $j$ -го елемента від часу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Досвід використання гуманно-калієвого реагенту лінгоксин для забезпечення стійкості стовбура свердловин / М. Я. Магун, С. А. Гурський, О. Є. Забільська, Р. В. Зіньков // Нафтова і газова промисловість. — 2008. — № 1. — С. 36—38.
2. OIL.CAPITAL.RU [Електронний ресурс] — Режим доступу : [www.oilcapital.ru/technologies/2003/04/171539\\_50503.shtml](http://www.oilcapital.ru/technologies/2003/04/171539_50503.shtml) — Назва з титул. екрану.
3. Гук Ю. Б. Анализ надежности электроэнергетических установок / Ю. Б. Гук. — Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. — 224 с.
4. Федорів М. Й. Аналіз надійності ремонтпридатного електрообладнання систем електропостачання бурових установок / М. Й. Федорів, І. В. Гладь, У. М. Маскевич // Методи та прилади контролю якості. — 2007. — № 19. — С. 60—65.
5. Лежнюк П. Д. Оцінка якості оптимального керування критеріальним методом : моног. / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар. — Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2006. — 107 с.
6. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах / Дж. Эндрени. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 336 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.11  
Рекомендована до друку 27.11.11

**Николин Ульяна Михайлівна** — інженер кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств.

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