



УДК 621.314

**MATHEMATICAL MODEL OF FUNCTIONING OF THE ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEM IN THE VIRTUAL PROGRAMMING ENVIRONMENT****МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОБУРА В СЕРЕДОВИЩІ ВІРТУАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ****Mykhayliv I.M. / Михайлів І.М.****Fedoriv M.Y. / Федорів М.Й.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.***Galushchak I.D. / Галушчак І.Д.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.***Hlad I.V. / Гладь І.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.***Kiyanjuk O.I. / Кіянюк О.І.***Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG),**Ivano-Frankivsk Karpatska 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019*

**Анотація.** В роботі побудовано математичну модель функціонування системи електропостачання електробура в якій враховано вплив температури рідкої рідини на зміну опорів струмопідводу. Досліджено зміну енергетичних параметрів в залежності від глибини буріння. Встановлено закономірності зміни струмів в фазах, напруг та моменту на валу електробура.

**Ключові слова:** електробур, система електропостачання, віртуальне програмування.

**Вступ.** Для збільшення видобутку нафти з малопродуктивних пластів доцільно споруджувати свердловини з використанням електробура, який дозволяє бурити горизонтально направлені та похило спрямовані відгалуження свердловини.

Для проведення лабораторних досліджень електротехнічного комплексу для електробуріння (ЕТКЕ) в середовищі віртуального програмування LabVIEW створена комп'ютерна модель системи електропостачання ЕЛБ, яка дозволяє моделювати режими роботи ЕЛБ. В основі математичної моделі лежить Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна ЕЛБ, представленого комплексними опорами  $Z_1$ ,  $Z_m$  і  $Z_2(s)$  відповідно. В коло статора введено комплексні опори бурового трансформатора ЗТР, жил кабелю ЗГ і бурильної труби ЗТ. Останні залежать від глибини буріння та від значення струму електродвигуна. Задаючись числовими значеннями опорів схеми заміщення СЕЕ, глибиною буріння  $L$ , номінальними струмом  $I_N$  і ковзанням  $s$ , знаходимо фазні напруги  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  на початку струмопідводу в номінальному режимі. Залишаючи бажані фазні напруги на початку струмопідводу та глибину буріння незмінними, розраховуємо механічну характеристику асинхронного двигуна ЕЛБ  $M(s)$  та значення його фазних струмів  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  під час зміни ковзання  $s$  від 0 до 1 [94].

**Основна частина.** Вихідними даними, що вносяться на початку моделі є:



параметри бурового трансформатора ТМТБ 630/10 та електродвигуна електробура Е215-8М-В5. До параметрів бурового трансформатора належать: номінальна вторинна напруга бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У1, які залежать від глибини буріння, і для електробура Е215-8М-В5 становить: 1700 В для глибина 0...1000 м, 1750 В для глибина 1000...2000 м, 1850 В для глибина 2000...3000 м, 1900 В для глибина понад 3000 м -  $U_{ном.тр} = 1700 \div 1900$  В; номінальний вторинний струм бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У1 -  $I_{ном.тр} = 155$  А; напруга короткого замикання ВН-СН бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У -  $U_k = 10,7\%$ ; втрати потужності бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У1 -  $\Delta P_k = 10700$  Вт. До параметрів електродвигуна ЕЛБ належать: номінальна напруга електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $U_{ном.еб} = 1550$  В; номінальний струм фази статора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $I_{ном,еб} = 131$  А; активний опір фази статора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $r_{1d} = 0,419$  Ом; індуктивний опір фази ротора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $x_{1d} = 0,635$  Ом; приведені активний опір фази ротора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $r_2 = 0,691$  Ом; приведені індуктивний опір фази ротора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $x_2 = x_{1d} = 0,635$  Ом; активний опір фази намагнічувального контуру електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $r_m = 0,671$  Ом; індуктивний опір фази намагнічувального контуру електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $x_m = 7,715$  Ом; синхронна частота обертання ротора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $n_1 = 750$  об/хв; номінальна частота обертання ротора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 -  $n_2 = 655$  об/хв.

Математична модель дозволяє визначати: опори схем заміщення електродвигуна електробура Е215-8М-В5 залежно від ковзання; параметри струмопідводу; опори схем заміщення бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У1; опори схеми заміщення струмопідводу залежно від глибини буріння; лінійні напруги на початку струмопідводу залежно від ковзання; фазні струми та напруг на затискачах електродвигуна електробура Е215-8М-В5; механічні характеристики електродвигуна електробура Е215-8М-В5; енергетичні втрати електродвигуна електробура Е215-8М-В5.

Для визначення опорів схеми заміщення електродвигуна електробура Е215-8М-В5 залежно від ковзання потрібно визначити: комплексний опір намагнічувального контуру, [Ом]:

$$Z_m = r_m + x_m \cdot i, \quad (1)$$

де  $r_m$  - активний опір фази намагнічувального контуру електродвигуна електробура Е215-8М-В5;  $x_m$  - індуктивний опір фази намагнічувального контуру електродвигуна електробура Е215-8М-В5.

Комплексний опір фази статора, [Ом]:

$$Z_1 = r_{1d} + x_{1d} \cdot i, \quad (2)$$

де  $r_{1d}$  - активний опір фази статора електродвигуна електробура Е215-8М-В5;  $x_{1d}$  - індуктивний опір фази ротора електродвигуна електробура Е215-8М-В5.

Комплексний опір фази ротора, [Ом]:



$$Z2(s) = x2 \cdot i + r2 \cdot \frac{1-s}{s}, \quad (3)$$

де  $r2$  - приведений активний опір фази ротора електродвигуна електробура E215-8M-B5;  $x2$  - приведений індуктивний опір фази ротора електродвигуна електробура E215-8M-B5.

Комплексний опір фази електродвигуна, [Ом]:

$$Z(s) = Z1 + \frac{Zm \cdot Z2(s)}{Zm + Z2(s)}. \quad (4)$$

Струм електродвигуна, [А]:

$$I(s) = \frac{U_{ном.еб}}{\sqrt{3} \cdot Z(s)}. \quad (5)$$

де  $U_{ном.еб}$  - номінальна напруга електродвигуна електробура E215-8M-B5.

Для розрахунку параметрів струмопідводу потрібно визначити: питомий активний опір труби при температурі 20 °С, [Ом/км]:

$$rt20(s) = a0 + a1 \cdot I(s)^1 + a2 \cdot I(s)^2 + a3 \cdot I(s)^3, \quad (6)$$

де  $a0$ ,  $a1$ ,  $a2$ ,  $a3$  - коефіцієнти апроксимації питомого активного опору труби Н140 при температурі 20 °С.

Температура промивної рідини на забої [1], [°С]:

$$Tbz = (15 + 12L) + Tbp, \quad (7)$$

де  $Tbp$  - температура промивної рідини на поверхні;  $L$  – глибина забою свердловини.

Середня температура струмопідводу [1], [°С]:

$$Ts = \frac{30 + Tbp + Tbz}{2}. \quad (8)$$

Питомий активний опір труби, [Ом/км]:

$$rt(s) = rt20(s) \cdot (1 + 0,006 \cdot Ts). \quad (9)$$

Питомий реактивний опір труби [7], [Ом/км]:

$$xt(s) = b0 + b1 \cdot I(s)^1 + b2 \cdot I(s)^2 + b3 \cdot I(s)^3, \quad (10)$$

де  $b0$ ,  $b1$ ,  $b2$ ,  $b3$  - коефіцієнти апроксимації питомого реактивного опору труби Н140 при температурі 20 °С.

Питомий активний опір жили, [Ом/км]:

$$Rg = rg20 \cdot (1 + 0,004 \cdot Ts), \quad (11)$$

де  $rg20$  - питомий активний опір жили при температурі 20 °С.

Індуктивний опір бурового трансформатора в номінальному режимі роботи, [Ом]:

$$X_{ном.тр} = \sqrt{Z_{ном.тр}^2 - R_{ном.тр}^2}. \quad (12)$$

Активний, індуктивний та комплексний опори бурового трансформатора, [Ом]:

$$R_{тр} = R_{ном.тр} \frac{U_{тр}}{U_{ном.тр}}, \quad (13)$$

$$X_{тр} = X_{ном.тр} \frac{U_{тр}}{U_{ном.тр}}, \quad (14)$$

$$Z_{тр} = R_{тр} + X_{тр}. \quad (15)$$



Для розрахунку опорів схеми заміщення струмопідводу в залежності від глибини буріння потрібно визначити: активний опір бурильної труби, [Ом]:

$$Rt(s) = rt(s) \cdot L. \quad (16)$$

Індуктивний опір бурильної труби та жили кабеля, [Ом]

$$Xt(s) = xt(s) \cdot L, \quad (17)$$

$$Xg = xg \cdot L, \quad (18)$$

де  $xg$  - питомий реактивний опір жили.

Комплексний опір бурильної труби та жили кабеля, [Ом]

$$Zt(s) = Rt(s) + Xt(s) \cdot i, \quad (19)$$

$$Zg(s) = Rg(s) + Xg \cdot i. \quad (20)$$

Комплексний опір кожної фази, [Ом]

$$Za(s) = Z(s) + Zt(s) + Ztr, \quad (21)$$

$$Zb(s) = Zc(s) = Z(s) + Zg(s) + Ztr. \quad (22)$$

Розрахунок лінійних напруг на початку струмопідводу залежно від ковзання: фазні струми у номінальному режимі роботи, [А]:

$$Ia(s) = |I(s)|, \quad (23)$$

$$Ib(s) = |I(s)| \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \text{deg}}, \quad (24)$$

$$Ic(s) = |I(s)| \cdot e^{-i \cdot 240 \cdot \text{deg}}. \quad (25)$$

Лінійні напруги у номінальному режимі роботи, [В]:

$$Uab(s) = Ia(s) \cdot Za(s) - Ib(s) \cdot Zb(s), \quad (26)$$

$$Ubc(s) = Ib(s) \cdot Zb(s) - Ic(s) \cdot Zc(s), \quad (27)$$

$$Uca(s) = Ia(s) \cdot Za(s) - Ic(s) \cdot Zc(s). \quad (28)$$

Розрахунок фазних струмів та напруг на затискачах електродвигуна електробура Е215-8М-В5: комплексний опір струмопідводу, [Ом]:

$$Zabc(s) = Za(s) \cdot Zb(s) + Zb(s) \cdot Zc(s) + Zc(s) \cdot Za(s), \quad (29)$$

$$Zab(s) = \frac{Zabc(s)}{Zc(s)}, \quad Zbc(s) = \frac{Zabc(s)}{Za(s)}, \quad Zca(s) = \frac{Zabc(s)}{Zb(s)}. \quad (30)$$

Фазні струми на початку струмопідводу, [А]

$$Iab(s) = \frac{Ua1 - Ub1}{Zab(s)}, \quad Ibc(s) = \frac{Ub1 - Uc1}{Zbc(s)}, \quad Ica(s) = \frac{Uc1 - Ua1}{Zca(s)}. \quad (31)$$

де  $Ua1, Ub1, Uc1$  – фазні напруги на початку струмопідводу

Фазні струми на затискачах електробура у фазі А, В і С, [А]

$$IA(s) = Iab(s) - Ica(s), \quad IB(s) = -Iab(s) + Ibc(s), \quad IC(s) = -Ibc(s) + Ica(s). \quad (32)$$

Фазні напруги на затискачах електробура у фазі А, В і С, [В]

$$UA(s) = IA(s) \cdot Z(s), \quad UB(s) = IB(s) \cdot Z(s) \quad UC(s) = IC(s) \cdot Z(s). \quad (33)$$

Момент у фазі А (аналогічно знаходимо моменти в фазі В та С) , [кг·м]:

$$Ma(s) = \frac{(|UA(s)|)^2 \cdot r2}{\frac{2\pi \cdot n1}{60} \cdot s \cdot 9,807 \left( \left( r1d + \left| \frac{Zm + Z1}{Zm} \right| \cdot \frac{r2}{s} \right)^2 + \left( x1d + \left| \frac{Zm + Z1}{Zm} \right| \cdot x2 \right)^2 \right)}. \quad (34)$$

Момент електродвигуна, [кг·м]:



$$M(s) = Ma(s) + Mb(s) + Mc(s). \quad (35)$$

Потужність, що споживається електробуром знаходять шляхом обчислення втрат в струмопідводі та електробурі. Зміни в процесі буріння осевого навантаження і моментоемності прохідних порід обумовлюють коливання звантаження електробура. Тому потужність, що розвивається двигуном, відрізняється від номінальної, для якої в технічних характеристиках двигуна дається певне значення коефіцієнта корисної дії.

Програмне забезпечення розроблене у середовищі графічного програмування LabVIEW [2]. Спочатку здійснюється запис початкових вимірних величин у файл, після чого запускається програма математичної опрацювання .

### Висновки.

1. В результаті побудови математичної моделі функціонування основних елементів системи електропостачання електробура отримано аналітичні залежності для визначення енергетичних параметрів.

2. Отримані результати обґрунтовують доцільність здійснення модернізації системи струмопідводу.

### Література:

1. Федорів, М. Й. Дослідження енергетичних параметрів електротехнічного комплексу для електробуріння / М. Й. Федорів, І. В. Гладь, А. І. Поточний // Нафтогазова енергетика. - 2011. - № 3. - С. 61-71.

2 Михайлів І.М. Обґрунтування структури системи електропостачання електробура / Федорів М.Й., Галушчак І.Д., Гладь І.В., Кіянчук О.І. // Technique and technology of the future 'in 2018- С. 69-70.

### References:

1. M. Fedoriv, I Glad, A Potochnyy (2011). Investigation of power parameters of electrical engineering complex for electric drilling. Oil and gas energy, (3) 61-71.

2. Mykhayliv I.M., Fedoriv M.Y., Galushchak I.D., Hlad I.V., Kiyanjuk O.I Justification of power supply structure of electric drill . Technique and technology of the future 'in 2018

**Abstract.** In this work a mathematical model of the functioning of the electric power supply system is constructed, which takes into account the influence of the temperature of the primoeve liquid on the change of current propagation. The change of energy parameters depending on the depth of drilling is studied. The regularities of the change of currents in phases, voltages and moments on the shaft of electric shaft are established.

**Keywords:** electric drill, power supply system, virtual programming.

Стаття відправлена: 20.12.2018 г.

©Михайлів І.М.