

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ДВИГУНІВ ШТАНГОВИХ ГЛИБИННОПОМПОВИХ НАФТОВИДОБУВНИХ УСТАНОВОК

Запропоновано метод визначення періодичних залежностей струмів та електромагнітного моменту приводного асинхронного двигуна штангової глибиннопомпової установки на основі динамограми роботи верстата-гойдалки.

Предложен метод определения периодических зависимостей токов и электромагнитного момента приводного асинхронного двигателя штанговой глубиннонасосной установки на основе динамограммы работы станка-качалки.

A method for current and electro-magnetic torque periodic dependencies determining of deep-well rod pumping unit asynchronous motor drive is proposed on the basis of the dynamometer card of pumping unit operation.

Електропривод верстатів-гойдалок штангових глибиннопомпових нафтовидобувних установок (ШГПУ) здійснюють за допомогою асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненим ротором. Для правильного вибору і надійної експлуатації обладнання нафтових родовищ важливе значення має вибір окремих елементів, що потребує визначення електричних навантажень, які створюються роботою верстата-гойдалки [1].

Привод плунжерної помпи ШГПУ здійснюється за допомогою верстата-гойдалки. Її робота в умовах, за яких враховуються лише статичні навантаження та сила пружності матеріалу штанг і труб, описується за допомогою ідеалізованої динамограми, яка має форму паралелограма (рис.1).

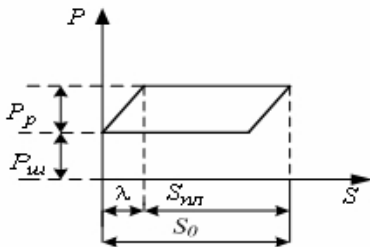


Рис.1. Теоретична ідеалізована динамограма верстата-гойдалки

Реальна динамограма внаслідок поздовжніх пружних коливань має складніший характер і залежить від ступеня зрівноваженості верстата-гойдалки. Спеціальні противаги можуть розміщуватись на балансірі, на кривошипі, або там і там одночасно (рис.2).

Основою для визначення переміщень, швидкостей та прискорень різних елементів ШГПУ служить кінематична схема верстата-гойдалки (рис.2), з використанням якої розроблена модель верстата-гойдалки [4].

Електромагнітний момент, який розвиває АД,

$$M_e = M_{kp} / k_i, \tag{1}$$

де k_i – передавальне число від вала двигуна до кривошипа. Момент M_{kp} навантаження на валу кривошипа є періодичною функцією кута α його повороту і зусилля $P = P(\alpha)$, яке діє на полірований шток в точці підвищення штанг. Він визначається на підставі геометричних розмірів ланок перетворювального механізму

$$M_{kp} = -G_k l_k \cos \alpha + \frac{r_{kp} \sin(\alpha - \delta)}{k_i \sin(\delta - \beta)} \times (Pk_1 + (G_{\delta} l_{\delta} - G_{\delta} l_{\delta}) \cos \beta), \tag{2}$$

де r_{kp} – радіус кривошипа, G_{δ} , G_k , G_{δ} , – сили тяжіння, які діють на зрівноважувальні вантажі на балансірі і кривошипі та головку балансира; l_k , $l_{\delta} = l_2$ – відстані від осі обертання балансира до відповідних центрів ваги.

Система електроприводу ШГПУ має змінний момент інерції, тому рівняння руху

$$J(\alpha) \omega_{kp} \frac{d\omega_{kp}}{d\alpha} + \frac{\omega_{kp}}{2} \frac{dJ(\alpha)}{d\alpha} M_e - M(\alpha). \tag{3}$$

Електромагнітні процеси в АД в осях x , y описуються системою диференціальних рівнянь (ДР)

$$d\vec{\psi} / dt = D\vec{\psi} - R\vec{i} + \vec{u}, \tag{4}$$

де $D = \text{diag} \left(\begin{matrix} & \omega_0 \\ -\omega_0 & \end{matrix}, \begin{matrix} & \omega_0 - \omega \\ -\omega_0 + \omega & \end{matrix} \right);$

$$\vec{\psi} = (\psi_{sx}, \psi_{sy}, \psi_{rx}, \psi_{ry})^T;$$

$$\vec{i} = (i_{sx}, i_{sy}, i_{rx}, i_{ry})^T;$$

$\vec{u} = (u_{sx}, u_{sy}, 0, 0)^T$ – вектори поточкозчеплень струмів та напруг контурів (верхній індекс "т" означає транспонування); $R = \text{diag}(r_s, r_s, r_r, r_r)$ – діагональна матриця активних опорів контурів АД.

Якщо в рівнянні (1) перейти від часової координати t до кута повороту кривошипа, електромагнітні процеси будуть змінюватись з періодом 2π , що дає змогу розглядати задачу

розрахунку стаціонарного режиму як крайову з періодичними крайовими умовами [3]. Система (4) при цьому у формі Коші

$$\frac{d\vec{\psi}}{d\alpha} = \frac{D_\alpha \vec{\psi} - R\vec{i} + \vec{u}}{\omega_{kp}}, \quad (5)$$

де матриця D_α отримується з матриці D шляхом підстановки $\omega = \omega_{kp} p_0 k_i$, а p_0 – кількість пар полюсів привідного двигуна.

Динамічні режими електроприводу ШГПУ описуються системою ДР, яка складається з рівняння (5) електричної рівноваги та рівняння (3) руху ротора, яку можна представити одним векторним рівнянням

$$\frac{d\vec{y}(\vec{x}, \alpha)}{d\alpha} = \vec{z}(\vec{y}, \vec{x}, \vec{u}), \quad (6)$$

де $\vec{y} = (\vec{\psi}, \omega_{kp})^T$; $\vec{x} = (\vec{i}, \omega_{kp})^T$;

$$\vec{z} = \begin{pmatrix} (\omega_0 \psi_{sy} - r_s i_{sx} + u_{sx}) / \omega_{kp} \\ (-\omega_0 \psi_{sx} - r_s i_{sy} + u_{sy}) / \omega_{kp} \\ (\omega_0 \psi_{sy} - r_s i_{sx}) / \omega_{kp} - p_0 k \psi_{1y} \\ (-\omega_0 \psi_{sx} - r_s i_{sy}) / \omega_{kp} + p_0 k \psi_{1x} \\ \frac{p_0}{J \omega_{kp}} (M_e - M(\alpha)) - \frac{p_0 k_i \omega_{kp}}{2J} \frac{dJ}{d\alpha} \end{pmatrix}.$$

Розв'язком системи ДР (4) є $T = 2\pi$ – періодична залежність від кута α повороту кривошипа вектора \vec{x} . Для її отримання систему ДР (6) алгебризуємо шляхом апроксимації змінних стану кубічними сплайнами на сітці $N+1$ вузлів періоду. У результаті отримаємо алгебричний аналог у вигляді векторного рівняння

$$H\vec{Y} - \vec{Z} = \vec{0}, \quad (7)$$

де $H = \text{diag}(H_0, \dots, H_0)$ – діагональна матриця розміру mN переходу від неперервної зміни m координат до їх вузлових значень, яка складається з N однакових блоків (підматриць H_0), а елементи визначаються лише віддалами між вузлами періоду; $\vec{Y} = (\vec{y}_1, \dots, \vec{y}_N)^T$, $\vec{Z} = (\vec{z}_1, \dots, \vec{z}_N)^T$ – вектор, компонентами яких є вузлові значення векторів \vec{y}_j, \vec{z}_j .

Невідомим в системі (7) є вектор $\vec{X} = (\vec{x}_1, \dots, \vec{x}_N)^T$, де $\vec{x}_j = (\vec{i}_j, \omega_j)^T$, який є дискретним відображенням періодичного розв'язку. Розв'язування нелінійної системи (7) алгебричних рівнянь здійснюється ітераційним методом Ньютона разом з методом продовження по параметру.

На основі викладеного розроблена математична модель, яка дає змогу на основі динамограми роботи верстата-гойдалки визначати періодичні залежності струмів контурів АД та електромагнітного моменту, що є основою для визначення струмових навантажень установок і проектувати систему електропостачання нафтового родовища.

Приклад періодичних залежностей величин для двигуна, який приводить в рух верстат-гойдалку 7СК8-3,5-4000, наведено на рис.2.

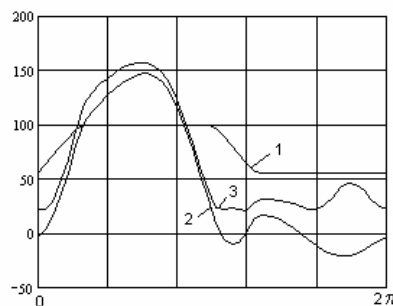


Рис.2. Періодичні залежності зусилля P в точці підвищування штанг (1), моменту (2) на валу двигуна та струму (3) статора

Список використаної літератури

1. Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ / В.С. Бойко – К.:Реал Принт, 2004. – 695 с.
2. Лозинський О.Ю. Дослідження електроприводу штангової глибинонасосної установки / О.Ю.Лозинський, Б.С.Калужний, А.В.Маляр // Техн. електродин. – 2008. – Тем. вип. “Проблеми сучасної електротехніки”. – Ч.4. – С. 69–72.
3. Маляр В.С. Математическое моделирование периодических режимов работы электротехнических устройств / В.С.Маляр, А.В. Маляр // Электронное моделирование. – 2005. – Т.27. – № 3. – С. 39-53.
4. Маляр А.В. Математичне моделювання роботи верстата-гойдалки штангової нафтовидобувної установки / А.В. Маляр // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – № 3. – С. 34-35.

Отримано 29.06.2011



Маляр Андрій Васильович,
д.т.н., проф. каф. електроприводу
НУ "Львівська політехніка",
тел. (032) 258-26-20, e-mail:
svmalyar@polynet.lviv.ua
79013, м.Львів, вул. Ст. Бандери, 12



Калужний Богдан Семенович,
к.т.н., доцент кафедри
електроприводу НУ "Львівська
політехніка", тел. (032) 258-26-20
e-mail: kaluzhny@polynet.lviv.ua
79013, м.Львів, вул. Ст. Бандери, 12



Андреїшин Андрій Сергійович,
аспірант каф. електроприводу
електроприводу НУ "Львівська
політехніка",
тел. (032) 258-26-20 79013, м.Львів,
вул. Ст. Бандери, 12