

ВПЛИВ ЗРІВНОВАЖЕННЯ ВЕРСТАТА-ГОЙДАЛКИ НА РОБОТУ ПРИВІДНОГО ДВИГУНА

© Маляр А.В., Молнар В.В., 2009

Розглядається питання вибору критерію оцінки впливу зрівноваження верстата-гойдалки на роботу електроприводу штангової глибинонасосної установки. На підставі математичного моделювання показано взаємозв'язок дисперсії струму привідного двигуна з оптимальним режимом роботи привідного двигуна верстата-гойдалки.

An issue of selecting a criterion for evaluating the influence of the balance of the rod oil-pumping unit on the driving motor operation is discussed. Based on mathematic modeling, the relation between variance of the driving motor current and the optimal operation mode of the pumping unit' driving motor is shown.

Вступ. Впровадження енергозберігаючих технологій визнане найпріоритетнішим завданням сучасної української промисловості. Електропривод – найбільший споживач електроенергії в нафтовій промисловості. Навіть незначне підвищення енергоефективності електроприводів завдяки великій кількості електроенергії, що споживається ними, має помітне значення в масштабах країни. Основним напрямом підвищення енергоефективності є раціональне керування споживанням електроенергії. При видобуванні нафти значна частина електроенергії споживається електроприводами штангових глибинонасосних установок (ШГНУ), якими оснащують малодебітні свердловини. З року в рік частка таких свердловин зростає, у зв'язку з чим збільшується кількість експлуатаційного обладнання завищеної потужності, а тому актуальним є пошук шляхів щодо зниження енергоспоживання, оскільки для таких свердловин це істотно впливає на вартість видобутої тонни нафти. Одним з таких шляхів є правильне зрівноваження верстата-гойдалки.

Суть проблеми. Робота верстатів-гойдалок характеризується нерівномірним циклічним навантаженням та змінним моментом інерції. У незрівноваженому верстаті-гойдалці навантаження привідного асинхронного двигуна під час руху плунжера догори і донизу істотно відрізняються, що значно погіршує енергетичні показники електроприводу. При русі плунжера догори в точці підвісу штанг діє статичне навантаження, спричинене вагою стовпа рідини, вагою штанг та силою тертя. Сила тертя зумовлена тертям плунжера об стінки циліндра насоса, тертям штанг об рідину та внутрішню поверхню труб, а також гідравлічним опором під час переміщення рідини через насос та труби. Крім того, додатково діють динамічні зусилля, які виникають внаслідок інерційності штанг, стовпа рідини та повздовжніми коливаннями штанг. Результуюча сила при русі плунжера догори створює навантаження на двигун. При русі плунжера донизу сумарне навантаження зменшується на величину ваги стовпа рідини, і у незрівноваженому верстаті-гойдалці є значно меншим, ніж при русі догори (рис. 1). Деколи це призводить до того, що двигун починає працювати у генераторному режимі.

Для зрівноваження навантаження рухомої системи верстата-гойдалки і привідного двигуна під час руху плунжера догори і донизу використовують балансирні і кривошипні противаги. Використання зрівноваженої системи значно покращує енергетичні показники електроприводу, оскільки коливання навантаження електродвигуна зрівноваженого верстата-гойдалки зменшуються. Зрівноваження верстата-гойдалки досягається встановленням противаги на кінці балансира (із сторони, протилежній головці, на якій підвішені штанги глибинного насоса). Такий спосіб називається балансирним зрівноваженням. У сучасних установках верстатів-гойдалок застосовується зрівноваження шляхом закріплення вантажу на кривошипях (роторне зрівноваження), а також комбіноване.

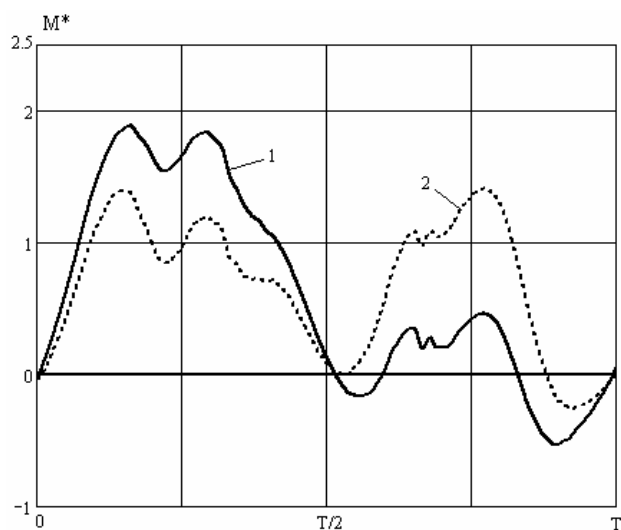


Рис. 1. Графік зміни відносного моменту двигуна за період обертання кривошипа у незрівноваженому (1) та зрівноваженому (2) верстаті-гойдалці

У зрівноваженому верстаті-гойдалці забезпечується найменше середньоквадратичне значення моменту за повний цикл роботи, якому відповідає рух плунжера догори і донизу. Досвід показує, що при цьому практично забезпечується й рівність максимумів моменту за обидва півцикли. Для визначення ступеня зрівноваження верстатів-гойдалок найчастіше використовуються сигнали від давачів струму або потужності, які встановлюють в колі живлення електроприводу ШГНУ [1–5]. Для оцінювання зрівноваженості використовують коефіцієнт зрівноваження за струмом

$$K_c = 2 \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}, \quad (1)$$

де I_1, I_2 – максимальний струм двигуна при ході плунжера догори та донизу відповідно.

В іншому випадку використовують коефіцієнт зрівноваження за активною потужністю

$$K_n = 2 \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}, \quad (2)$$

де P_1, P_2 – максимальна активна потужність двигуна при ході плунжера догори та донизу відповідно.

Вважається, верстат потрібно дозрівноважувати, якщо вказані коефіцієнти є більшими за $0,1$. Існують також й інші критерії, однак, як було показано в [2], всі вони дають схожі результати. Вибір конкретного з них залежить від наявності апаратного та програмного забезпечення для контролю збалансованості, яке часто є доволі дорогим та вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Тому на практиці для зрівноваження часто користуються наближеними номограмами чи формулами, складеними саме для цього типорозміру верстата-гойдалки. Для цього попередньо вимірюють потужність або її розрахунок за значеннями струму та напруги. Отже, актуальним є створення математичної моделі, яка б дала змогу визначити ступінь зрівноваженості верстата-гойдалки та оцінити його вплив на енергетичні показники роботи електроприводу.

Виклад основного матеріалу. Для визначення коефіцієнта зрівноваження верстата-гойдалки необхідно мати значення струмів або потужностей привідного двигуна за період роботи. Оскільки значення цих величин в процесі роботи верстата-гойдалки постійно змінюються, то для оцінювання впливу ступеня зрівноваженості на роботу привідного асинхронного двигуна (АД) можна взяти дисперсію або середньоквадратичне відхилення струму за період роботи. Дисперсія струму є найпростішим критерієм як з погляду його обчислення, так і з погляду визначення оптимального режиму роботи електроприводу. У разі нормального закону розподілу дисперсія струму однозначно характеризує споживану привідним двигуном активну потужність. Отже, можна зробити висновок про те, що коли верстат-гойдалка є зрівноваженим, дисперсія його струму, а значить і споживана активна потужність, є мінімальною.

У роботі [6] запропоновано математичну модель верстата-гойдалки, яка на основі його кінематичної схеми дає змогу однозначно визначити залежності лінійних та кутових переміщень елементів верстата-гойдалки від кута повороту кривошипа. За допомогою цієї моделі можна знайти значення моменту навантаження на валу кривошипа залежно від сили P_0 , що діє на полірований шток, та кута α повороту кривошипа

$$M_{кр} = \frac{r_{кр} \sin(\alpha - \delta)}{k \sin(\delta - \beta)} (P_0 k_1 + (G_{\sigma} l_{\sigma} - G_{\delta} l_{\delta}) \cos \beta) - G_k l_k \cos \alpha,$$

де $r_{кр}$ – радіус кривошипа; β – кут повороту балансира; δ – кут між шатуном і горизонтальною віссю; k_1, k – переднє та задні плечі балансира; G_{σ}, l_{σ} – вага головки балансира та відстань до центра її обертання; $G_{\delta}, l_{\delta}, G_k, l_k$ – ваги зрівноважувальних вантажів, розташованих на балансири та кривошипі відповідно, та відстані до них від центрів їх обертання.

Для визначення струму привідного двигуна та його активної потужності використаємо залежності, які отримані в [7] на основі розв’язання системи диференціальних рівнянь електромагнітної рівноваги контурів АД в системі координатних осей x, y та рівняння руху ротора з урахуванням змінного моменту інерції

$$\frac{d\omega}{d\alpha} = k_i p_0 \frac{3p_0^2}{2J} ((\psi_{sx} i_{sx} - \psi_{sy} i_{sy}) - M_B(\alpha)) / \omega - \frac{\omega}{2J} \frac{dJ}{d\alpha},$$

де p_0 – кількість пар полюсів АД; ω – швидкість обертання ротора АД; $\psi_{sx}, \psi_{sy}, i_{sx}, i_{sy}$ – потокозчеплення та струми контурів АД; $M_B(\alpha)$ – момент на валу АД, який залежить від кута α ; J – момент інерції, приведений до валу АД; k_i – передавальне число між двигуном та кривошипом.

Вхідним параметром для такої системи рівнянь є значення зусилля в полірованому штоці за період обертання кривошипа. Воно може бути вимірним або обчисленим на основі параметрів свердловини. На підставі обчислених залежностей розраховується середньоквадратичне відхилення та дисперсія струму привідного двигуна. З отриманих характеристик значень можна встановити оптимальний з погляду енергоспоживання та нагрівання режим експлуатації свердловини, за якого забезпечується мінімальна вартість енергозатрат на тону видобутої нафти та максимальний міжремонтний період роботи електроприводу.

Результати моделювання. Як приклад, на рис. 2 та 3 показано криві зміни середньоквадратичного відхилення, дисперсії, математичного сподівання струму двигуна та його активної потужності від коефіцієнта зрівноваження за активною потужністю.

Дослідження проводились для різних величин максимального зусилля в полірованому штоці: 1 – 73 кН, 2 – 68 кН, 3 – 64 кН, 4 – 55 кН (рис. 1), які відповідали різним довжинам штанг. Привідним двигуном було використано АД типу 4AP160S4Y3 ($P_n = 15$ кВт, $U_n = 380$ В, $n_0 = 1500$ об/хв, $M_n = 97$ Н·м).

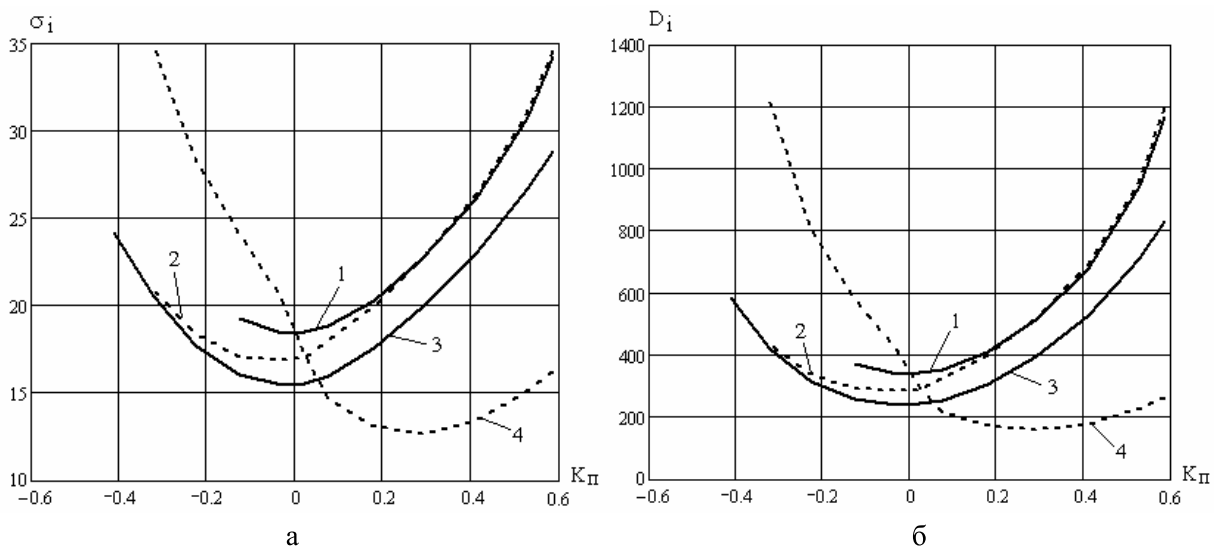


Рис. 2. Залежність середньоквадратичного відхилення (а) та дисперсії (б) струму двигуна від коефіцієнта зрівноваження

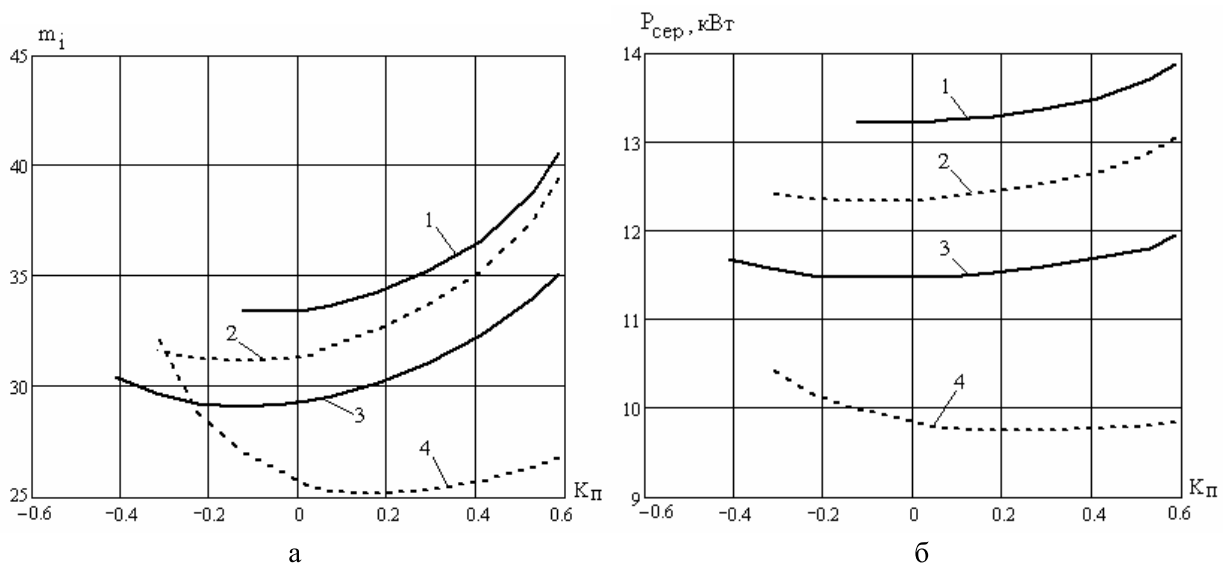


Рис. 3. Залежність математичного сподівання струму двигуна (а) та середньої активної потужності (б) двигуна від коефіцієнта зрівноваження

З наведених вище рисунків видно, що при зрівноваженому верстаті-гойдалці ($K_{\text{п}} \approx 0$) дисперсія струму привідного асинхронного двигуна є найменшою і він споживає найменшу потужність. Деякі відхилення є у разі істотного зменшення максимального зусилля в полірованому штоці, що спричинене значним недовантаженням двигуна. У цьому разі потрібно вибирати двигун меншої потужності. Отже, мінімум дисперсії струму привідного АД можна використати як критерій оцінки ступеня зрівноваженості верстата-гойдалки, а отже, і для вибору оптимального, з погляду енергоспоживання, режиму роботи електроприводу глибинонасосної свердловини.

Висновки. Запропонований підхід для визначення ступеня зрівноваженості верстата-гойдалки на підставі дисперсії струму привідного двигуна дає змогу ефективно контролювати витрати електроенергії кожної ШГНУ та запобігати виникненню аварійних та передаварійних ситуацій.

1. Ровінський В.А. Вимірювач потужності приводу верстатів-качалок // *Методи та прилади контролю якості*. – Івано-Франківськ, 2002. – № 9. 2. Исаченко И.Н., Гольдштейн Е.И., Налимов Г.П. Методы контроля сбалансированности станка-качалки на основе измерения электрических параметров // *Нефтяное хозяйство*. – 2002. – № 1. – С. 60–61. 3. Исаченко И. Н. Алгоритмическое и программно-техническое обеспечение контроля состояния штанговых и электроцентробежных насосных установок по электрическим параметрам на их входе: Автореф. дис. ...канд. техн. наук, 05.11.13. Томский политехн. ун-т. – Томск, 2004. – 18 с. 4. Смородов Е.А. Оперативный контроль сбалансированности станка-качалки на основе динамометрирования // *Нефтяное хозяйство*. – 2001. – № 7. – С. 57–58. 5. Гольдштейн Е.И., Цанко И.В. Нетрадиционные способы функционального контроля и диагностики электромеханических, электротехнических и электротехнологических систем // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2000. – № 1. – С. 81–86. 6. Маляр А.В. Математичне моделювання роботи верстата-гойдалки штангової нафтовидобувної установки // *Нафтова і газова промисловість*. – 2008. – № 3. – С. 33–34. 7. Лозинський О.Ю., Калужний Б.С., Маляр А.В. Дослідження електроприводу штангової глибинонасосної установки // *Технічна електродинаміка*. – 2008. – Темат. випуск. – № 6. – С. 37–40.