

І. І. Яремак, асп.

ЗАДАЧІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ З ПОЗИЦІЙ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

Визначено задачі вибору оптимальних режимів роботи нафтоперекачувальних станцій з позицій системного підходу. Для керування роботою насосного агрегату використано два канали: струм збудження приводного синхронного двигуна та швидкість його обертання. Запропонована постановка задач оптимального керування роботою насосного агрегату дає можливість оцінити вартісні затрати на встановлення того чи іншого режиму нафтоперекачувальної станції з урахуванням фізичних властивостей енергоносія.

Вступ

Нафтоперекачувальна станція (НПС) — це складна система взаємодіючого електромеханічного і гідравлічного обладнання, яка має певні властивості та характеристики насосних агрегатів (НА), гідротранспортної мережі, запірно-регулювальної арматури тощо. НПС приймає дві основні властивості: інерційність розвитку та керованість, які обумовлюють необхідність розв'язання задач оптимального управління її функціонуванням. Оптимізація режимів роботи НПС дасть можливість: зменшити споживання електроенергії НА; зменшити знос основного обладнання за рахунок вибору менш напружених, з точки зору роботи обладнання, режимів технологічного перекачування; підвищити коефіцієнт корисної дії (ККД) основного обладнання.

Огляд літературних джерел показав, що перехідні та усталені режими роботи НПС спричиняють взаємозв'язані електромагнітні, механічні і гідравлічні процеси [1]. Проте із єдиного електрогідромеханічного процесу електроприводної НПС спеціалісти електрики виділяли для розгляду електромеханічні [2], а спеціалісти гідромеханіки — гідромеханічні складові [3]. Тому виникає необхідність застосування системного підходу для комплексного аналізу режимів роботи НПС, як єдиної системи з підсистемами різної фізичної природи [4].

Методологія системного підходу довела свою ефективність і універсальність для розв'язання великого кола проблем пов'язаних з керуванням складними технологічними системами. У зв'язку з цим оптимальне управління роботою НПС необхідно здійснювати з позицій системного підходу.

Мета роботи — дослідити режими роботи НПС з позицій системного підходу, проаналізувати ефективність та стійкість роботи приводного електродвигуна та насоса, здійснити постановку задач вибору оптимальних режимів роботи нафтоперекачувальних станцій.

Матеріал і результати дослідження

Задачі оптимального керування процесом перекачування полягають у визначенні таких режимів роботи системи, які мінімізують вартість використаної електроенергії при обов'язковому виконанні плану прийому і здачі нафти за деякий плановий період. Роботу нафтоприводної системи забезпечують НПС. Сучасна НПС — це складна енергоємна система, оптимізація режимів роботи якої дозволить зменшити споживання електроенергії, підвищити надійність і коефіцієнт корисної дії НА та НПС загалом.

НПС — це складна система, що має дворівневу структуру [5]. На нижньому рівні відбувається енергообмін між приводним електродвигуном та насосом, а верхній рівень охоплює електричну і гідравлічну мережі. Традиційні способи керування режимами роботи НПС на нижньому рівні полягають в дроселюванні напірних ліній, зміні загальної кількості робочих НА тощо. Проте вони не забезпечують ефективної роботи НПС і спричиняють додаткові затрати матеріальних та енергетичних ресурсів.

Для оптимального управління роботою гідротранспортної системи зазвичай використовую-

ють два канали керування, а саме струм збудження приводного синхронного двигуна (СД) та швидкість його обертання.

Регулювання струму збудження СД дає можливість зменшити втрати в двигуні та забезпечити необхідне значення коефіцієнта запасу статичної стійкості. Отож задача оптимального управління роботою НА НПС полягає в мінімізації цільової функції ϕ_1 , яка характеризує вартісні затрати на процес керування струмом збудження I_f СД,

$$\phi_1 = f(I_f) \Rightarrow \min. \quad (1)$$

Згідно з [6] потужність СД визначається за формулою

$$P_{\text{СД}} = P_1 + \Delta P, \quad (2)$$

де P_1 – корисна потужність на валу СД; ΔP – втрати в СД.

$$\Delta P = C + D\beta^2 + A\alpha^2 + B\alpha. \quad (3)$$

де β , α – відносні значення навантаження статора СД відповідно за активною та реактивною потужностями; C – складова втрат, що не залежить від активної та реактивної потужності; D – складова втрат, що змінюється пропорційно квадрату активної потужності; A – складова втрат, що змінюється пропорційно квадрату реактивної потужності; B – складова втрат, що змінюється пропорційно реактивній потужності.

Тоді коефіцієнт корисної дії СД

$$\eta_{\text{СД}} = \frac{P_1}{P_1 + C + D\beta^2 + A\alpha^2 + B\alpha}. \quad (4)$$

Для прикладу розглянемо чотири режими роботи СД, встановлені шляхом регулювання струму збудження:

- режим зі сталим значенням коефіцієнта потужності;
- режим для якого струм збудження дорівнює номінальному значенню;
- режим з коефіцієнтом потужності двигуна, рівним номінальному значенню;
- режим з номінальним реактивним навантаженням.

Згідно з розрахунками, проведеними для СТД–2500 оптимальним за умовою максимального значення ККД є режим з постійним коефіцієнтом потужності.

Важливим параметром роботи СД є стійкість. Для аналізу стійкості СД в різних режимах роботи застосуємо вираз [5]

$$\phi'_1 = \frac{(a_1 I_f^2 + a_2 I_f + a_3) U_{\text{Ш}}}{N_C x_d} - 1 \Rightarrow \max, \quad (5)$$

де a_1 , a_2 , a_3 – коефіцієнти апроксимації характеристики неробочого ходу СД; x_d – синхронний індуктивний опір СД; N_C – потужність відцентрового насоса (ВН) НА; I_f – струм збудження СД.

Отож цільову умову ϕ_1 , яка є вартісними затратами на процес керування струмом збудження I_f СД та враховує стійкість його роботи, представимо у вигляді

$$\phi_1 = \sum_{j=1}^n S_j t_j c, \quad (6)$$

де t_j – час роботи НА; j – кількість розрахункових інтервалів, c – вартість спожитої СД електроенергії; S_j – повна потужність СД.

Наведені вище позитивні властивості СД матиме за рахунок регульованих можливостей системи збудження електроприводу і не потребує додаткових капіталовкладень.

Керувати роботою НПС можна також шляхом регулювання швидкості обертання ω приводного електродвигуна (за умови наявності на НПС частотного перетворювача). Відомо, що в цьому випадку економія електроенергії є суттєвою порівняно з традиційним дроселюван-

ням вихідного потоку гідромашини.

Отож, задачу оптимального керування роботою НПС доцільно представити у вигляді цільової умови ϕ_2 , яка є вартісними затратами на процес керування швидкістю обертання ω ВН

$$\phi_2 = f(\omega) \Rightarrow \min. \quad (7)$$

Згідно з математичною моделлю ВН, побудованою на основі методу електрогідравлічної аналогії [7], споживана потужність насоса складає

$$N_c = \frac{Q_{*i} H_{*i}}{\eta_{ВНi}}, \quad (8)$$

де H_{*i} , Q_{*i} – відносне значення напору та витрати регульованого ВН [7]; $\eta_{ВНi}$ – характеристика ККД ВН, визначена експериментальним шляхом для різних швидкостей обертання. Всі розрахунки ведемо у системі відносних одиниць [7].

$$H_{*i} = k_n^2 \sqrt{\left(H_{*eki}\right)^2 - \left(Q_{*x*eki}\right)^2} - k_n Q_{*r*eki} k_v, \quad (9)$$

де r_{*eki} – еквівалентний активний гідроопір i -го ВН, в основі якого лежать сили в'язкісного тертя між шарами рідини та рідиною і стінками каналу, який відображає дисипацію енергії у зовнішній простір у вигляді тепла; x_{*eki} – еквівалентний індуктивний гідроопір i -го ВН, спричинений силами інерції, що протидіють зміні витрати ВН; H_{*eki} – еквівалентний напір i -го ВН; $k_v = \nu/\nu_{\text{вода}}$ – коефіцієнт зміни кінематичної в'язкості рідини відносно води; $k_n = n/n_{\text{Н}}$ – коефіцієнт регулювання швидкості ВН відносно номінального значення.

Варто зауважити, що напірна характеристика насоса, визначена з виразу (7), дає можливість враховувати вплив в'язкості рідини на швидкість обертання ВН.

Отож, задачу вибору оптимального режиму роботи НА з позицій системного підходу представимо у вигляді

$$\phi_2 = \sum_{j=1}^n S_{\text{НА}i} \cdot t_j \cdot c \Rightarrow \min, \quad (11)$$

де $S_{\text{НА}i}$ – повна потужність i -го НА.

$$S_{\text{НА}i} = \frac{Q_{*i} H_{*i}}{\eta_{ВНi} \eta_{\text{СД}i}}. \quad (12)$$

НПС та трубопровід необхідно розглядати, як єдину складну систему, яка працює в умовах енергетичного балансу з додатковим обмеженням, яке виключає можливість кавітації. Кавітація знижує енергетичні показники насосів (можливі виникнення гідро ударів, підвищений рівень вібрації) і, як наслідок, надійність роботи насоса. Щоб не допустити зміни основних технічних показників насоса, кавітаційний запас не повинен бути меншим за $\Delta h_{\text{ДОП}}$

$$\Delta h_{\text{ДОП}} = A \Delta h_{\text{кр}}, \quad (10)$$

де A – коефіцієнт кавітаційного запасу, який вибирають залежно від коефіцієнта швидкохідності n_s і властивостей енергоносія.

Вибір оптимальних режимів роботи НПС визначимо з урахуванням умови забезпечення безкавітаційної роботи насосів

$$H_i \geq \Delta h_{\text{ДОП}}. \quad (13)$$

Варто зауважити, що за відсутності на НПС перетворювача частоти необхідно також враховувати вартість його встановлення.

Висновки

Запропонована постановка задач оптимального керування роботою НПС дає можливість з позицій системного підходу оцінити вартісні затрати на встановлення оптимального режиму НПС. Зокрема, за відсутності перетворювачів частоти регулювати режими роботи НА доцільно керуванням струму збудження СД, що дасть можливість оцінити втрати потужності в СД при зміні навантаження на валу та проаналізувати стійкість його роботи. За наявності на НПС перетворювача частоти оптимальний режим можна установити зміною швидкості обертання ВН з урахуванням впливу в'язкості робочої рідини на роботу НА та умови забезпечення безкавітаційної роботи насоса.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Борисов Р. И. Полиоптимальное управление неустановившимися режимами узлов нагрузки нефтеперекачивающих станций / Р. И. Борисов, В. С. Костышин // Изв. академии наук СССР : Энергетика и транспорт. — 1987. — № 4. — С. 122—126.
2. Меньшов Б. Г. Электрификация предприятий нефтяной и газовой промышленности / Б. Г. Меньшов, И. И. Суд. — М. : Недра, 1984. — 416 с.
3. Вершинин И. М. Влияние конструктивных и рабочих параметров лопастных гидромашин на критерий динамического подобия / И. М. Вершинин // Изв. вузов СССР : Энергетика. — 1984. — № 7. — С. 116—121.
4. Костышин В. С. Полиоптимальное управление электромеханическими переходными процессами перекачивающих станций магистральных нефтепроводов : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.02 «Електричні станції (електрична частина), мережі, системи і керування ними» / Костишин Володимир Степанович ; Уральський політехнічний інститут імені С. М. — Свердловськ, 1987. — 19 с.
5. Костишин В. С. Формалізація цільових умов оптимізації режимів роботи електроприводних насосних станцій магистральних нафтопроводів / В. С. Костишин, І. І. Сорохтей // Нафтогазова енергетика : всеукраїнський науково-технічний журнал ІФНТУНГ. — 2007. — № 2(3). — С. 63—68.
6. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И. А. Сыромятников. — М — Л. : Госэнергоиздат, 1963. — 528 с.
7. Костишин В. С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії : моног. / В. С. Костишин. — Івано-Франківськ, 2000. — 163 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 8.11.11

Яремак Ірина Ігорівна — аспірантка кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств.

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