

*В.А. Бородай, доц. канд. техн. наук, М.О. Нестеренко  
(Україна, Дніпропетровськ, Національний гірничий університет)*

## **МЕТОД ТА КРИТЕРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ПУСКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ВАЖКИМИ УМОВАМИ ПУСКУ**

Відомо, що одним із перспективних напрямів покращення пускових властивостей потужних синхронних двигунів є метод, який сприяє підвищенню коефіцієнта потужності їх обмотки збудження [1]. Це здійснюється шляхом створення умов для виникнення резонансних явищ при використанні власної або зовнішньої ємності обмотки збудження [2]. Даний метод при одночасному отриманні бажаної форми пускових характеристик може забезпечити приблизно двократне збільшення пускового моменту при незначному прирості пускового струму. Але робота [2], на якій базуються подальші дослідження, не передбачає наведення доказів раціональності методу та критерію оптимізації при виборі кількості та ємності зовнішніх конденсаторів. Ураховуючи, що гірничо-промисловість безперечно потребує нового високопродуктивного електрообладнання, можна вважати, що обґрунтування вибору раціональних методу та критерію оптимізації пускових характеристик потужних синхронних двигунів є актуальним науковим завданням.

Пошук оптимального рішення – одна із поширених науково-технічних задач. Зазвичай мета пошуку спрямовується на вибір такого варіанта, який найкращим чином відповідає попередньо сформованому критерію оптимізації [3]. До аналізу методів оптимізації входили: метод дихотомії; метод золотого перерізу; метод Гауса-Зейделя та його модифікації; симплексний метод; метод деформованих багатогранників; градієнтний метод.

Метод половинного поділу відрізка не ставить ніяких вимог до існування похідної функції. Для нього достатньо щоб функція була безперервною. Метод золотого перерізу є більш ефективний у порівнянні з методом дихотомії через кращий коефіцієнт стиснення. При цьому даний метод вимагає значної кількості обчислень цільової функції. Метод Гауса-Зейделя є самим простим і одним із самих неефективних. Для методу деформованих багатогранників є характерним його використання переважно для функцій з кількістю факторів  $N \leq 6$ . Тому для подальших дослідів був вибраний градієнтний метод оптимізації, як такий, що найбільше відповідає вимогам поставленого наукового завдання. Особливою відмінністю даного методу від інших є те, що він формує напрям пошуку чим, значно прискорює його збіжність, а пошук крапки екстремуму функції здійснюється за кінцевим числом кроків з бажаною точністю. Крім того вибраний метод забезпечує використання необхідної кількості факторів та обмежень, що у даному випадку має особливе значення (задана кількість факторів досягає 10, а обмежень 4).

Для аналізу якості керування системою можуть бути використані прямі та непрямі методи оцінки. Прямі базуються на дослідженні безпосередньо перехі-

дно процесу або квазі-усталеного і дають найбільш достовірну інформацію про показник якості. Непрямі методи дозволяють, не розв'язуючи диференціальних або характеристичних рівнянь, отримати приблизний вигляд перехідних процесів з приблизним показником якості. Усі показники якості зв'язані з параметрами налагодження регуляторів або елементів регулювання складними залежностями, які мають суперечливий характер: зміна параметрів системи призводить до покращення одних показників і погіршення других. Тому в інженерній практиці широко використовують інтегральні критерії якості. Це така категорія показників, яка розраховується або безпосередньо за перехідними функціями систем, або за коефіцієнтами перехідних функцій систем [4]. Таким чином, інтегральні критерії якості можливо використовувати для вибору оптимального значення будь-якого параметра системи, який забезпечує екстремум критерію оптимальності.

Для дослідження впливу критеріїв оптимізації на форму пускових характеристик було вибрано чотири інтегральних показники:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (M_{\sigma} - M_i)}{n_1 - 1}; \quad (1)$$

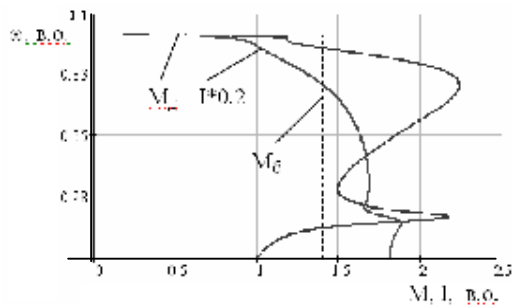
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (|M_{\sigma} - M_i|)}{n_1 - 1}}; \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} [(M_{\sigma} - M_i)^2 + [M_i] h^2]^2}{n_1 - 1}}; \quad (3)$$

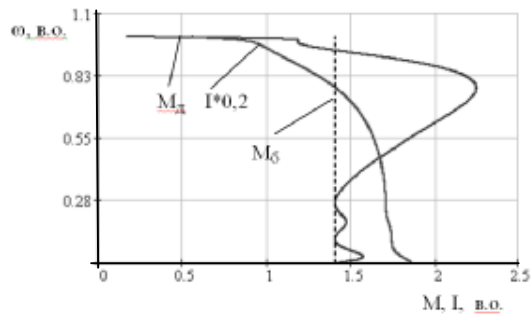
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} [(M_{\sigma} - M_i)^2]}{n_1 - 1}}, \quad (4)$$

де  $\sigma$  – інтегральне квадратичне відхилення дійсної моментної характеристики від бажаної, в.о.;  $M_i, M_{\sigma}$  – моменти відповідно дійсної та бажаної характеристик, в.о.;  $n_1$  – число ітерацій при побудові пускової характеристики;  $h$  – крок розрахунку.

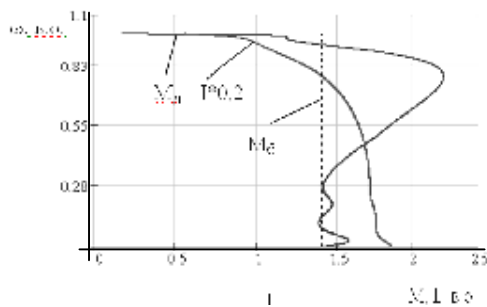
На прикладі модернізованого серійного двигуна СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4 з номінальною потужністю 4 МВт виконана оцінка дії критеріїв якості на форму пускової характеристики, де на рисунку, а – критерій рівняння (1), б – критерій рівняння (2), в – критерій рівняння (3), г – критерій рівняння (4).



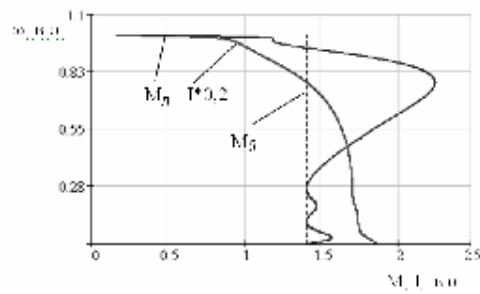
а



б



в



г

Пускові характеристики двигуна СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4  
 М - момент, в.о.; І – струм статора, в.о.

Дослідження проведені при умовах: напруга живлення – номінальна; пусковий момент не менше 1,4 в.о.; навантаження двигуна – відсутнє; інтегральне квадратичне відхилення повинно прагнути до мінімуму; ємність конденсаторів у кожній групі повинна бути більше нуля; конденсаторів у кожній групі повинно бути більше одного; загальна кількість конденсаторів дорівнює кількості полюсів ротора; пусковий момент – неменше пускового бажаного.

Із отриманих результатів досліджень видно, що форми пускових характеристик рисунок, в і г найбільше відповідають вимогам, які ставляться до синхронного електропривода з важким пуском [2]. Але критерій рисунок, в рівняння (3) є більш складним у порівнянні з (4). Тому можливо стверджувати, що раціональними слід вважати градієнтний метод оптимізації і критерій рівняння (4), оскільки вони найкращим чином забезпечують пошук бажаних пускових характеристик синхронних двигунів з розщепленою обмоткою збудження та каскадним розташуванням конденсаторних груп.

### Список літератури

1. Електромеханічні системи енергонапружених барабаних млинів / Г.Г. Півняк, В.І. Кириченко: Монографія. – Д.: НГА України, 2000. – 166 с.
2. Повышение надежности и экономичности мощных синхронных приводов с тяжелым пуском. / Г.Г. Пивняк, В.В. Кириченко, В.А. Бородай // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – 2007 – С. 553–555.
3. Аоки М. Ведение в методы оптимизации. – М.: Наука, 1977. – 344 с.
4. Васильев В. Г. Критерии качества систем автоматического управления: Методические указания. – Тверь: ТГТУ, 2007. – 17 с.