

*д.т.н. Заблодський М.М.,  
Грицюк В.Ю., Кулдиркаєв І.М.  
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна),  
Гринь Г.М.*

*(ТВД «Первомайський електромеханічний  
завод ім. К. Маркса», м. Первомайськ, Україна)*

## **ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ КОРИСНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ЗАГЛИБНОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА**

*Розроблено спосіб вимірювання складових корисної потужності та коефіцієнта корисної дії електромеханічних перетворювачів технологічного призначення, що може знайти застосування при випробуваннях заглибних електромеханічних перетворювачів.*

**Ключові слова:** *заглибний електромеханічний перетворювач, складові корисної потужності, ферромагнітний масивний ротор, момент опору рідини.*

*Разработан способ измерения составляющих полезной мощности и коэффициента полезного действия электромеханических преобразователей технологического назначения, который может найти применение при испытаниях погружных электромеханических преобразователей.*

**Ключевые слова:** *погружной электромеханический преобразователь, составляющие полезной мощности, ферромагнитный массивный ротор, момент сопротивления жидкости.*

Заглибні поліфункціональні електромеханічні перетворювачі (ПЕМП) технологічного призначення – нові пристрої, практика застосування яких нараховує декілька років [1]. Розрахунок та проектування заглибних ПЕМП являє собою складне завдання, адже проектна потужність цих пристроїв визначається двома складовими – тепловою та механічною.

Недоліками відомих способів визначення корисної потужності двигунів [2, 3] є неможливість визначення теплової складової корисної потужності заглибного ПЕМП і значна похибка при вимірюванні корисної потужності та визначенні ККД з урахуванням тільки корисної механічної потужності. Відомий пристрій для реалізації способу визначення корисної потужності, в якому вал двигуна, що підлягає випробуванням, з'єднується з вимірювачем швидкості обертання та гідравлічним гальмом [4]. До причин, які перешкоджають визначенню корисної потужності, відносять неможливість механічного приєднання вимірювача швидкості обертання гідравлічного гальма до заглибного ПЕМП у

зв'язку з відсутністю у останнього вихідного кінця валу і відсутністю елементів для безпосереднього або непрямого виміру теплової потужності, а також зі значною похибкою вимірювань через вплив гальмівної дії підводів та відводів рідини. У відповідності до вищенаведеного, актуальною є розробка способів визначення складових корисної потужності та ККД заглибних ПЕМП.

Метою роботи є удосконалення способів випробувань електромеханічних перетворювачів за рахунок створення способу визначення складових корисної потужності та ККД заглибних ПЕМП та підвищення точності визначення їх енергетичних характеристик.

Поставлена мета досягається шляхом визначення складових корисної потужності та коефіцієнта корисної дії, завдяки одночасному безпосередньому вимірюванню активної підведеної потужності  $P_1$ , непрямого вимірюванню корисної механічної потужності  $P_{2\text{мех}}$  та визначенню різниці між ними  $\sum P$ . Непряме вимірювання складових корисної потужності здійснюють за

рахунок розміщення заглибного ПЕМП безпосередньо в резервуарі з рідиною, що нагрівається, вимірювання моменту опору рідини  $M_2$  (який складається з сил розриву і тертя між рідиною та ротором заглибного електромеханічного перетворювача), одночасного вимірювання температури кінців його кріплення, температури рідини  $\theta_{рл}$  і кутової швидкості обертання ротора  $\omega_p$  та визначення механічної складової корисної потужності

$$P_{2, мех} = (M_2 + M_o) \cdot \omega_p. \quad (1)$$

Додатковий момент опору  $M_o$  складається з моментів тертя в підшипнику і подолання в'язкого тертя та адгезійних сил між зовнішньою поверхнею порожнистого статора і рідиною (визначається при калібруванні), теплових втрат в елементах кріплення ПЕМП

$$P_{Т.В.} = K \left\{ \sqrt{\alpha_p \cdot S \cdot \lambda \cdot F} \times \right. \\ \left. \times (\theta_M - \theta_K) \left( \frac{1 - pe^{-z}}{1 + pe^{-z}} \right) \right\}, \quad (2)$$

де  $K$  – кількість елементів кріплення;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу кріплення;  $\alpha_p$  – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні елементів кріплення до рідини;  $F$ ,  $S$  – відповідно площа та периметр поперечного перерізу елементів кріплення;  $\theta_M$ ,  $\theta_K$  – температури елемента кріплення відповідно в зонах з'єднання з ПЕМП та кришкою резервуара;  $p$ ,  $z$  – коефіцієнти, що залежать від співвідношень геометричних розмірів та теплопередачі у різних напрямках, визначення теплової складової корисної потужності  $P_{2, тепл} = \sum P - P_{Т.В.}$  і загального коефіцієнта корисної дії  $\eta = 100 \cdot (1 - (P_{Т.В.} / P_1))$  заглибного ПЕМП.

На рисунку 1 показано повздовжній розріз пристрою, яким здійснюють запропонований спосіб. Схема електричних кіл представлена на рисунку 2.

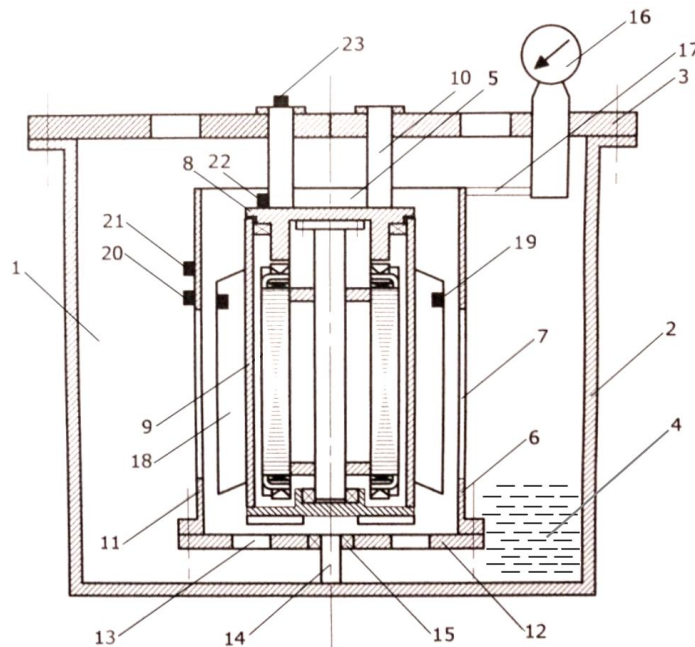


Рисунок 1 – Повздовжній розріз пристрою для визначення складових корисної потужності та ККД

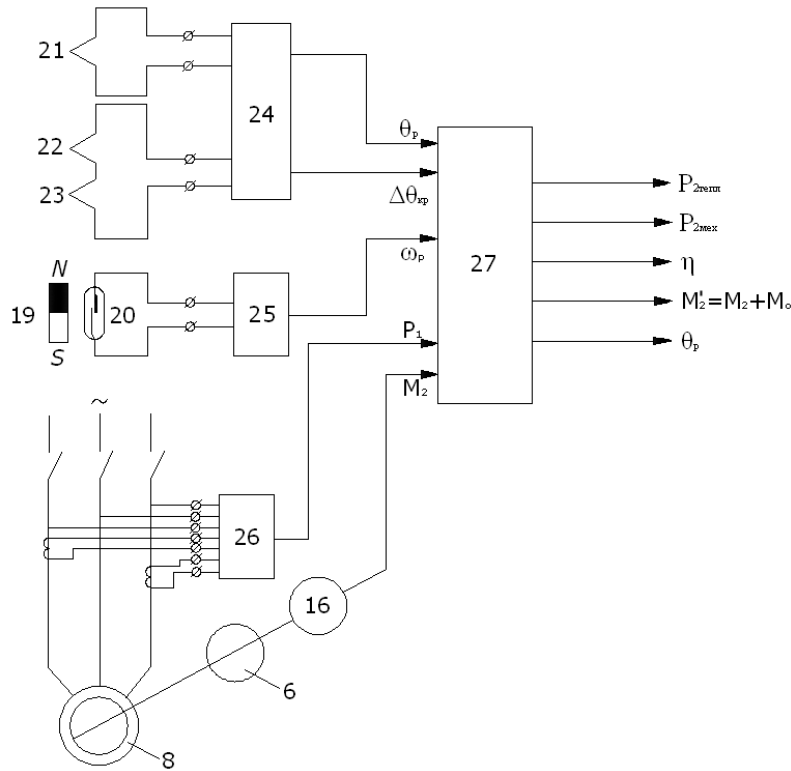


Рисунок 2 – Схема електричних кіл пристрою для визначення складових корисної потужності та ККД

Покажемо здійснення способу на прикладі заглибного ПЕМП для технологій розігріву та змішування епоксидних компаундів. Заглибний ПЕМП 8, закріплений на кришці 3, підключається до трифазної мережі живлення, при цьому утворюється обертове магнітне поле і феромагнітний масивний ротор 9 з лопатями 18 починає обертатись з кутовою швидкістю  $\omega_p$ . Постійні магніти 19 при обертанні ротора 9 збуджують імпульсні сигнали давача швидкості 20, які реєструються вимірювачем швидкості обертання 25 (тахометром). За допомогою вимірювача активної потужності 26 реєструється підведена активна потужність  $P_1$ , яка споживається ПЕМП. При обертанні ротора 9 утворюється момент опору рідини  $M_2$ , який складається з дії сил розриву і тертя між рідиною та ротором, при цьому шар рідини, прилеглий до поверхні ротора залучається до обертання і отримує момент кількості руху, що дорівнює обертовому моменту ПЕМП 8.

Момент кількості руху передається на порожнистий статор 6, що складається зі змінного порожнистого циліндра 11, на якому закріплено давач швидкості 20, диска 12 з пазами 13, вісі 14 та підшипникового вузла 15. З'єднаний зі статором за допомогою ваги 17, вимірювальний пристрій 16 втримує його від обертання і одночасно забезпечує можливість вимірювання моменту  $M_2$ .

За рахунок тепла, яке генерується в заглибному ПЕМП 8 і передається рідині, а також тепловиділень в самій рідині за рахунок внутрішнього тертя, в'язкість останньої зменшується і швидкість обертання ротора підвищується. За рахунок дії лопатів 18 через пази 7, 13 порожнистого статора 6 здійснюється масообмін і теплообмін в об'ємі рідини 4, що заповнює корпус 2. Одночасно здійснюється контроль температури рідини  $\theta_{рл}$  в зоні гальмівного елемента 5 та різниці температур  $\Delta\theta_{кр}$  на кінцях елементів кріплення 10 термопара-

ми 21, 22, 23 та вимірювачем температури 24. Інформація з виходів блоків 25, 26 та 16 одночасно передається на входи персонального комп'ютера 27, в якому здійснюються розрахунки складових корисної потужності  $P_{2\text{мех}}$ ,  $P_{2\text{тепл}}$  та загального коефіцієнта корисної дії  $\eta$ .

*Приклад.*

У порожнистий циліндричний корпус об'ємом  $0,06 \text{ м}^3$  завантажений заглибний ПЕМП з зовнішнім масивним феромагнітним ротором діаметром  $0,17 \text{ м}$  та радіальним розміром лопатей  $0,035 \text{ м}$ , довжина перетворювача –  $0,3 \text{ м}$ . Перетворювач закріплено на кришці корпуса за допомогою трьох вагонесучих стержнів діаметром  $0,02 \text{ м}$  і довжиною  $0,12 \text{ м}$  зі сталі Ст. 45 з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda=32 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Порожнистий статор гальмівного елемента, який коаксіально охоплює заглибний електро механічний нагрівач, виготовлено з латуні товщиною  $0,003 \text{ м}$  (коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 110,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ). Проміжок між внутрішньою поверхнею статора та лопатями ротора перетворювача –  $0,005 \text{ м}$ . Постійні магніти розташовані на чотирьох лопатях ротора на однаковій відстані від вісі обертання і закріплені за рахунок магнітного тяжіння, а на зовнішній поверхні статора гальмівного елемента закріплений геркон, електрично з'єднаний з входом тахометра LR7N фірми «Kubler». Відстань між магні-

том і герконом складає  $0,015 \text{ м}$  і забезпечує надійне генерування імпульсів при обертанні ротора перетворювача. На зовнішній поверхні статора також закріплена термопара мідь-константан. Дві такі ж термопари закріплені відповідно на одному з вагонесучих стержнів в місцях приєднання їх до перетворювача і кришки корпуса. Виходи термопар підключені до вимірювача температури восьмиканального УТК 38-Щ4. Порожнистий статор гальмівного елемента за допомогою ваги з'єднано з динамометричним моментоміром, в який вмонтовано давач обертового моменту Т 10 F фірми НВМ з класом точності  $0,1 \%$ .

Первинна обмотка заглибного ПЕМП приєднана до трифазної мережі з лінійною напругою  $380 \text{ В}$  промислової частоти через аналізатор параметрів мережі DMK 62 з використанням програмного забезпечення DMK SW10 для передавання інформації на персональний комп'ютер.

В таблицю 1 зведено дані випробувань заглибного ПЕМП при різних температурах рідини і, відповідно, різному реологічному стані незатвердженої епоксидної смоли ЭД-20 (ГОСТ 10 587).

Таблиця 1 – Дані випробувань заглибного ПЕМП

Температура рідини $\theta_p, ^\circ\text{C}$	Результати вимірювань				Результати розрахунків					
	$M_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	$P_1, \text{Вт}$	$\omega_p, \text{с}^{-1}$	$\Delta\theta_{\text{кр}}, ^\circ\text{C}$	$M_2+M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$P_{2\text{мех}}, \text{Вт}$	$\Sigma P, \text{Вт}$	$P_{\text{т.в}}, \text{Вт}$	$P_{2\text{тепл}}, \text{Вт}$	$\eta, \%$
38	31,7	2490	15,7	16	33	518,1	1972	8,4	1964	99,57
75	14	2200	31,4	50	14,9	467,9	1732	10,5	1722	99,56
85	7	1560	55	57	7,6	418	1142	13	1129	99,17

Нижче приведено приклад розрахунку теплових втрат через елементи кріплення заглибного ПЕМП.

Визначаємо окремі члени рівняння:

$$K = 3;$$

$$\sqrt{\alpha \cdot S \cdot \lambda \cdot F} =$$

$$= \sqrt{520 \cdot 628 \cdot 10^{-4} \cdot 32 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 0,56 \text{ Вт}/^{\circ}\text{C},$$

де  $\alpha = 520 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$  – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні металевго елемента кріплення при швидкості переміщення рідини  $v = 3 \text{ м}/\text{с}$ ;

$S = 628 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – периметр перерізу елемента кріплення;

$F = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – площа перерізу елемента кріплення.

$$m = \frac{\alpha}{\lambda} = \frac{520}{32} = 16,25 \text{ м}^{-1};$$

$$a_1 = \sqrt{\frac{\alpha \cdot S}{\lambda \cdot F}} = \sqrt{\frac{520 \cdot 0,0628}{32 \cdot 10^{-4}}} = 58,32 \text{ м}^{-1},$$

$$p = \frac{a_1 - m}{a_1 + m} = \frac{58,32 - 16,25}{58,32 + 16,25} = 0,564;$$

$$z = 2a_1 \cdot l = 2 \cdot 58,32 \cdot 0,12 = 14.$$

$\theta_M - \theta_K = 70 - 20 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , де  $\theta_M, \theta_K$  – температури елементів кріплення в зонах з'єднання з перетворювачем і кришкою.

Отже величина теплового потоку через елементи кріплення становить

$$P_{Т.В.} = 3 \cdot 0,56 \cdot 50 \cdot \frac{1 - 0,564 \cdot e^{-14}}{1 + 0,564 \cdot e^{-14}} = 84 \text{ Вт.}$$

При нанесенні на стержні кріплення теплоізолюючого шару товщиною 7 мм, наприклад, з асбослюди різко зменшується коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  і втрати теплового потоку складають 10,5 Вт. Відповідні значення коефіцієнта корисної дії заглибного ПЕМП такі: без теплоізоляції елементів кріплення  $\eta = 96,5 \%$ ; з теплоізоляцією – 99,56 %.

Практична ізотермічність потоку рідини по перерізу порожнини між ротором і статором гальмівного елемента, а також однакова температура статора і рідини досягається за рахунок високого коефіцієнта теплообміну вже при швидкостях потоку 0,5 м/с і інтенсивного перемішування потоку рідини.

Таким чином завдання створення способу визначення складових корисної потужності та коефіцієнта корисної дії заглибних ПЕМП та підвищення точності визначення їх енергетичних характеристик, слід вважати виконаним.

**Висновки.** Розроблено спосіб вимірювання складових корисної потужності та коефіцієнта корисної дії електромеханічних перетворювачів технологічного призначення, що може знайти застосування при випробуваннях заглибних електромеханічних перетворювачів.

### Бібліографічний список

1. Заблодский Н.Н. Полифункциональные электромеханические преобразователи технологического назначения: монография / Н.Н. Заблодский. – Алчевск : ДонГТУ, 2008. – 340 с.
2. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин / Г.К. Жерве. – Л. Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
3. Вьюншев В.Н. Гидравлический тормозной моментомер. Авторское свидетельство № 1118877. – Бюллетень изобретений, 1984. – № 38.
4. Одинец С.С. Средства измерения крутящего момента / С.С. Одинец [и др.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 160 с.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Луциком В.Д.