

ЕВРОПЕЙСКАТА ПРОГРАМА ЗА ИКОНОМИЯ НА ЕНЕРГИЯ "ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВОТО НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ (MOTOR CHALLENGE)"

Николай А. Ангелов, ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“, Варна

THE EUROPEAN ENERGY SAVING PROGRAM „MOTOR CHALLENGE“

Nikolay A. Angelov, Naval Academy „N. Y. Vaptsarov“, Varna

Abstract: *In this paper, the most important aspects of the Motor Challenge Program (MCP) promoted by the European Commission are considered. The main objective of the MCP is to help companies improve the energy efficiency of their electric motor driven systems, which have a large technical and economic potential for energy savings. There are given data about motor operation in real driven systems of different companies in this region and energy saving calculation.*

Key words: *energy efficient motors, electric motor driven systems, energy saving.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В много корабни и брегови съоръжения се използват помпи, вентилатори, компресори и др., задвижвани с електродвигатели. При това мощността на такива двигатели достига стойности от десетки и стотици киловати. По тази причина е изключително важно те да работят с висок коефициент на полезно действие (к.п.д.), т.е. с минимални загуби на енергия. Има случаи, когато мощността на електродвигателя (ЕД) се избира доста по-голяма от необходимата без да се отчита факта, че ненатовареният двигател работи с по-нисък к.п.д. и следователно споменатите загуби на електрическа енергия са по големи. В други случаи не само ЕД но и останалите елементи на системата имат ниски показатели. Начинът на управление на ЕД в технологичните процеси също е важен фактор, който може да окаже положително влияние върху намаляване консумацията на електроенергия от задвижващите системи.

2. ПРОГРАМАТА "ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВОТО НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ (MOTOR CHALLENGE)" - ОСНОВНИ ЦЕЛИ И ДЕЙНОСТИ

Направените проучвания от различни организации в ЕС [1] показват, че системите за електрозадвижване консумират 65% от електроенергията в промишлеността на ЕС. Въвеждането на енергоефективни електродвигатели (ЕЕЕД) може да спести на Европа над 200 милиарда киловатчаса годишно, което чувствително ще намали нуждата от електроенергия и ще доведе значителна икономия на капитали и ресурси, а именно:

- икономия на 5-10 милиарда евро експлоатационни разходи;
- икономия на 6 милиарда евро годишно разходи за екология;
- намаляване с почти 100 милиона тона емисиите на въглероден двуокис;
- намаляване с 45 гигавата нуждите от нови енергийни мощности в следващите 20 години;
- намаляване с 6% вноса на енергоносители в ЕС.

Екологичните ползи. С подписването на протокола от Киото ЕС се задължава да намали емисиите на парникови газове за периода от 2008 до 2012 г. с 8% в сравнение с 1998 г., т.е. с 336 милиона тона въглероден еквивалент. Неотдавна ЕС си постави нова амбициозна задача да увеличи дела електроенергията произвеждана от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ) до 20% до 2020 г. Това не може да бъде постигнато без сериозни усилия във всички области на икономиката, включително производството и използването на електроенергията.

Съществуват четири начина за намаляване на емисиите, свързани с електрическата енергия:

- увеличаване използването на възобновяеми енергийни източници (ВЕИ);
- увеличаване използването на атомната енергия;
- когенерация и повишаване к.п.д. на електростанциите;
- икономия на електроенергия.

От изредените начини най-голям потенциал и най-ниска цена има последната мярка.

Ползите от повишаване ефективността на електрозадвижването може да се постигнат с икономически мерки и технически такива.

Първият вид е свързан с цените на енергоносителите и сроковете на възвращаемост и по приблизителни оценки може да осигури 29% от общите икономии.

Вторият тип мерки има значително по-висок потенциал и е свързан с к.п.д. на ЕД.

За да се постигнат желаните резултати, ЕС приема следните действия:

- **Информация за електродвигателите:** в Интернет от 1998 г. съществува база данни за произвежданите в Европейския Съюз енергоефективни ЕД и съответният софтуер за избор или замяна на съществуващ стандартен ЕД (**EuroDEEM**), което да подпомогне потребителите на задвижващи системи.

- **Класификация:** през 1999 г. бе постигнато съглашение между *Европейския комитет на производителите на електрически машини и*

силова електроника (СЕМЕР) и Европейската комисия относно класификационна схема за трифазните асинхронни двигатели за ниско напрежение с мощност от 1,1 до 90 kW, дву- и четириполюсни, и намаляването на ЕД от клас EFF 3 с 50%. Според тази схема двигателите на СЕМЕР и някои други производители имат на табелката знак: EFF 1, EFF 2 или EFF 3. Как се разграничават посочените групи може да се види от табл. 1:

Таблица 1

kW	EFF 3 2p = 2;4 η _n , %	EFF 2 2p = 2;4 η _n , %	EFF 1 2p = 2 η _n , %	EFF 1 2p = 4 η _n , %
1,1	< 76,2	≥ 76,2	≥ 82,2	≥ 83,8
1,5	< 78,5	≥ 78,5	≥ 84,1	≥ 85,0
2,2	< 81,0	≥ 81,0	≥ 85,6	≥ 86,4
3	< 82,6	≥ 82,6	≥ 86,7	≥ 87,4
4	< 84,2	≥ 84,2	≥ 87,6	≥ 88,3
5,5	< 85,7	≥ 85,7	≥ 88,6	≥ 89,3
7,5	< 87,0	≥ 87,0	≥ 89,5	≥ 90,1
11	< 88,4	≥ 88,4	≥ 90,5	≥ 91,0
15	< 89,4	≥ 89,4	≥ 91,3	≥ 91,8
18,5	< 90,0	≥ 90,0	≥ 91,8	≥ 92,2
22	< 90,5	≥ 90,5	≥ 92,2	≥ 92,6
30	< 91,4	≥ 91,4	≥ 92,9	≥ 93,2
37	< 92,0	≥ 92,0	≥ 93,3	≥ 93,6
45	< 92,5	≥ 92,5	≥ 93,7	≥ 93,9
55	< 93,0	≥ 93,0	≥ 94,0	≥ 94,2
75	< 93,6	≥ 93,6	≥ 94,6	≥ 94,7
90	< 93,9	≥ 93,9	≥ 95,0	≥ 95,0

• **Стандарти/съглашения:** доброволно съглашение между производителите на ЕД за постепенно свиване на производството на ЕД с ниско к.п.д., което действа от 1999 г.

• **Програмата “Предизвикателството на ЕД”**, която стартира 2003 г. Основната цел на програмата е да намали консумацията на електрическа енергия от системите с електрозадвижване или задвижващите системи. Заедно с това да се повиши надеждността, да се подобри качеството на обслужването им и да се намали цената. Участието в програмата е доброволно.

Участниците в програмата могат да бъдат:

Партньори – компаниите, които използват задвижващи системи.

Поръчители – организации, които са в контакт с потребителите: производители, конструктори, обслужващи организации, ЕСКО-фирми и др.

Партньорът съставя и изпълнява план за действие, с цел подобряване енергийната ефективност на своите задвижващи системи. Планът е доброволен, а задачите и тяхното изпълнение се формулират и отчитат съгласно разработените в програмата правила. Отговорностите на Партньора се състоят в изпълнение и

отчитане на дейностите в плана. В него се посочват отговорните лица за прилагане на набелязаните мерки, за изготвяне на отчетите пред вишестоящото ръководство и пред Европейската комисия.

Ползите за Партньорите се състоят в следното:

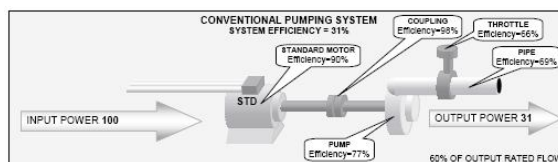
- повишаване на надеждността и качеството на продукцията;
- намаляване на разходите;
- придобиване на публично признание и имидж, които включват използване на логото на програмата и публичност на усилията за икономия на енергия, демонстрации на реализирана система, награди, включване в каталози.

Техническа помощ за Партньорите:

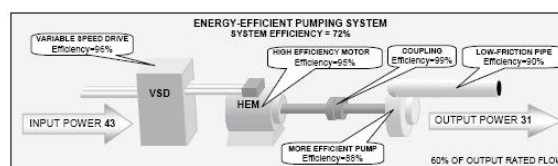
- може да бъде получена от националните енергийни агенции;
- може да се ползва софтуера EuroDEEM и ProMot за избор на двигатели;
- документация;
- подкрепа за технически и финансови решения;
- списък на Поръчителите и ЕСКО-фирмите.

3. АНАЛИЗ НА К.П.Д. НА ЗАДВИЖВАЩА СИСТЕМА

Преди да се предприемат определени действия за подобряване на енергийната ефективност на една задвижваща система, нека разгледаме елементите на такава система, техните к.п.д. и възможностите за подобряване к.п.д. на отделните елементи и на системата като цяло (фиг. 1)



Фиг. 1. Стандартна помпена система



Фиг. 2. Енергоефективна помпена система

Както се вижда от фиг. 1, к.п.д. на системата представлява произведение от к.п.д. на отделните елементи: стандартен ЕД, съединител, свързващ вала на двигателя с вала на помпата, помпа, дроселиращ вентил и тръбна система, към която се подава флуида, т.е.

$$к.п.д. = 0,9 \times 0,98 \times 0,77 \times 0,66 \times 0,69 = 0,31$$

или: 31%.

Най-важните фактори, от които зависи к.п.д. на системата, са:

- к.п.д. на ЕД,
- управление на честотата на въртене,

- точното оразмеряване,
- качеството на електрозахранването,
- загубите от разпределение,
- механичните предавки,
- начините за поддръжка,
- к.п.д. на крайния потребител (помпа, вентилатор, компресор и др.).

В общия случай мерките се свеждат до подобряване на показателите, отнасящи се до изредените фактори.

На фиг. 2 е показано същото задвижване, но с подобрени показатели – въведен е честотен регулатор, което позволява по-добро използване на помпата, ЕД има по-висок к.п.д. а тръбната система по-малко съпротивление. Това води до по-малка консумирана мощност от мрежата, при същата изходна мощност, и съответно по висок к.п.д. на системата. Ако изходната мощност остане 31 единици то за входната ще се получи:

$$\begin{aligned} \text{входна мощност} &= \text{изходна мощност} / \\ 0,9 \times 0,88 \times 0,99 \times 0,95 \times 0,96 &= \\ = 31 / 0,715 &= 43 \text{ ед}, \end{aligned}$$

при което к.п.д. на системата ще бъде

$$\text{к.п.д.} = 31 / 43 = 0,721 \text{ или } 72\%.$$

Това илюстрира възможността за значителна икономия на енергия чрез усъвършенстване на подобна помпена система.

4. ОТНОСНО ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА РЕАЛИЗАЦИЯ НА ЦЕЛИТЕ НА ПРОГРАМАТА

Програмата “Предизвикателството на електродвигателите (Motor challenge)” отразява действията на ЕС през последното десетилетие и донякъде следва аналогична програма на САЩ. В много случаи това е един естествен процес на усъвършенстване на задвижващите системи в стремежа да се направят те по-ефективни. Замърсяването на околната среда и парниковият ефект неизбежно оказват силен натиск върху този процес и той придобива в известна степен и политически характер.

Независимо от тези фактори най-важно значение има икономическата изгода от подобно усъвършенстване. По тази причина тук ще разгледаме някои основни моменти при оценката на инвестициите за постигане на желаните резултати.

При изследването на задвижващите системи важна задача представлява определянето на относителното натоварване на електродвигателя в системата, особено в случаите, когато това натоварване не е постоянно. Тази оценка може да се направи като се определи изходната мощност в работен режим P_2 се изчисли отношението $P_2 / P_{2\text{ном}}$, където $P_{2\text{ном}}$ е номинална мощност на ЕД.

В много случаи, особено в производствени условия, P_2 трудно може да се измери, затова се пред-

почитат приблизителни методи, които се свеждат до определяне на отношението на консумираната мощност в работен режим спрямо същата в номинален: $P_1 / P_{1\text{ном}}$, или се определя отношението на работния ток към номиналния: $I_1 / I_{1\text{ном}}$, или отношението на хлъзгането в работен към това в номинален режим: $s / s_{\text{ном}}$, посредством измерване на честотата на въртене n на ротора [3]. За предпочитане е първият метод поради това, че другите два имат по-малка точност. По такъв начин, при известни стойности на параметрите от табелката на ЕД и измерените на място P_1 , I_1 , напрежение U , коефициент на мощност $\cos \varphi$ и n , може да се изчисли относителното натоварване OH .

В зависимост от данните, с които разполагаме, за изчисляване на OH може да се използва един от изброените начини:

1) Чрез отношението на действителната консумирана мощност към тази в номинален режим:

$$OH(\%) = (P_1 / P_{1\text{ном}}) \cdot 100\% ,$$

където:

$$P_1 = \sqrt{3} U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi / 1000, kW ,$$

$$P_{1\text{ном}} = P_{2\text{ном}} / \eta_{\text{ном}}, kW ,$$

където U_L и I_L са линейните напрежения и ток на трифазната система.

Ако U_L и I_L за различните фази са различни, се взема средната им стойност.

2) Чрез отношението на действителния и номиналния ток. При натоварване на двигателя в границите $(0,5 - 1,0)P_{2\text{ном}}$ може да се счита, че натоварването е право пропорционално на тока. В случай, че напрежението не е равно на номиналното, се извършва и корекция по напрежение:

$$OH(\%) = (I_L / I_{L\text{ном}}) \cdot (U_L / U_{L\text{ном}}) \cdot 100\% .$$

3) Чрез отношението на действителното хлъзгане към номиналното. Зависимостта на хлъзгането на асинхронния двигател s от натоварването е почти линейна, следователно

$$OH(\%) = (s / s_{\text{ном}}) \cdot 100\%$$

или

$$OH(\%) = (n_{\text{син}} - n) / (n_{\text{син}} - n_{\text{ном}}) \cdot 100\% ,$$

където $n_{\text{син}}$ е синхронна скорост на въртене в об/мин; n - действителна скорост на въртене в об/мин; $n_{\text{ном}}$ - номинална скорост на въртене в об/мин.

Поради това, че малката относителна грешка при измерването на n може да стане голяма при определяне на разликата $(n_{\text{син}} - n)$, грешката при този ме-

Направление "Морско инженерство"

тод може да достигне 20%. Освен това, вследствие зависимостта на въртящия момент от квадрата на захранващото напрежение, би следвало да се въведе корекция и за този фактор. С нея формулата има вида

$$OH(\%) = s / \left[s_{ном} (U_{л\,ном} / U_{л})^2 \right] \cdot 100\% .$$

Освен дадените тук начини за определяне на OH , съществуват и други, аналитични методи и компютърни програми, но тяхното използване зависи от поставената задача.

От измерените данни може да се определи и к.п.д., с който работи ЕД:

$$h(\%) = P_{2ном} OH(\%) / P_1 .$$

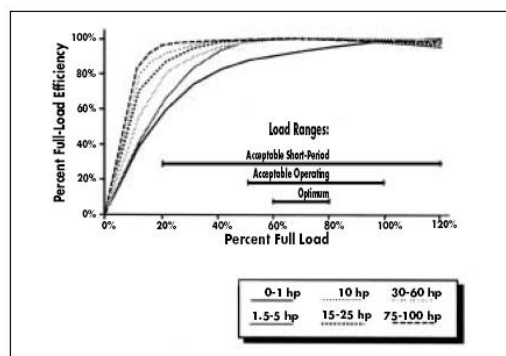
Измервания за определяне на относителното натоварване и к.п.д. на двигатели, задвижващи помпи и вентилатори, бяха направени в няколко предприятия във Варна, Русе и Разград. Бяха обследвани около 30 ЕД с мощност от 1,1 до 90 kW. В табл. 2 са дадени част от резултатите от измерванията на 19 ЕД, при натоварване, с каквото са работили в момента на измерването:

Таблица 2

№	$P_{2ном}, kW$	$OH, \%$	P_1, kW	$\eta, \%$	Забележка
1.	55	51,5	31,4	90	ВВМУ
2.	22	63,5	15,6	89,5	-
3.	2,2	55,6	1,5	81,5	-
4.	2,2	51,8	1,4	81,4	-
5.	1,5	71,8	1,4	77	-
6.	45	39,2	19,2	92	Приста-Ойл
7.	11	87,8	11,1	87	-
8.	7,5	86,3	7,4	87	-
9.	7,5	61,5	5,3	87	-
10.	90	66	69	86	Топл.-Разград
11.	90	70,7	74	86	-
12.	45	38,7	20	87	-
13.	45	31,7	17	84	-
14.	45	36,7	19	87	-
15.	5,5	33,4	2,2	83,5	-
16.	0,75	52,2	0,45	87	-
17.	18,5	65,2	13,7	85	Спарки-Русе
18.	10	70,9	8,5	83,4	-
19.	1,5	50	1	75	-

Повечето ЕД са конструирани да работят с натоварване от 50 до 100% от номиналното. Максималният к.п.д. обикновено е при 75% от номиналното натоварване. Както може да се види от фиг. 4 [3], той започва да намалява, когато натоварването спадне под 50% и това намаляване при по-малките мощности е по-значително (кривите са дадени за мощности, изразени в конски сили (hp), като 1 hp = 0,746 kW). При това

положение за кратко време е приемливо ЕД да работи с натоварване от 20 до 120%; при продължително натоварване с 50 до 100%, а за оптимален се счита интервалът от 60 до 80% натоварване спрямо номиналното.



Фиг. 3. Зависимост на к.п.д. от натоварването за ЕД с мощности в диапазона 0 ÷ 0,75 kW; 1,1 ÷ 4 kW; 11 ÷ 18,5 kW, 22,5 ÷ 45 kW; 55 ÷ 75 kW

Направеното подробно сравнение с данните от Справочника [4] и тези за европейските двигатели EEF1, EEF2, EEF3 (съгласно EN 60034-2), показва, че почти всички изследвани двигатели съответстват на групата EEF3, т.е. на стандартните двигатели. Затова тези, които експлоатират системи от разглеждания тип би трябвало да проучат възможностите за замяна на стандартните двигатели с високоефективни.

Годишната икономия на енергия при такава замяна, в зависимост от поставената цел и финансовите възможности, може да се определи по един от начините, дадени в [2]:

$$\text{Годишна икономия (kWh)} = (\text{работни часове}) \times (P_{2ном}, kW) \times (OH) \times (1/h_{EEF3} - 1/h_{EEF1}).$$

Пример. Ако вместо стандартен двигател с мощност 45 kW и к.п.д. 87 %, при 4 000 работни часа годишно и $OH = 70 \%$ се избере такъв от групата EEF1 с к.п.д. $\geq 93,9 \%$ (четириполюсен двигател), се получава:

$$\text{Годишна икономия (kWh)} = (4\,000) \times (45\,kW) \times (0,7) \times (1/0,87 - 1/0,939) = 10\,642,3\,kWh .$$

За да се получи годишната икономия в лв., трябва този резултат да се умножи на цената на електроенергията. При отчитане с една скала цената е 0,144 лв./kWh, следователно стойността на икономисаната енергия ще бъде:

$$10\,642,3\,kWh \times 0,144\,лв./kWh = 1\,532,49\,лв.$$

Ако приемем, че цената на нов двигател е 3 860 лв., то срокът на възвращаемост на инвестираните средства е

$$3\,860 / 1\,532,49 = 2,52\,години.$$

Ако за една нова система вместо стандартен ЕД със стойност 3 150 лв. се вземе енергоефективен ЕД, ще трябва да се доплатят 710 лв., но тези средства ще се възстановят само за

$$710/1\,532,49 = 0,46 \text{ години,}$$

т.е. за по-малко от половин година.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На практика, обследването на една задвижваща система и вземането на решение за инвестиции в енергоспестяващи мерки е сложен процес, в който участват специалисти на различни нива и в този смисъл включването в програмата "Предизвикателството на електро-двигателите (Motor challenge)" представлява възможност, която позволява да се решат ред задачи на високо

технологично и организационно равнище с полза както за Партньорите, участници в програмата, така и за обществото.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С п р а в о ч н и к "Асинхронные двигатели серии 4А". М., Энергоиздат, 1982.

2. D e K e u l e n a e r, Hans, Ronnie Belmans, Edgar Blaustein, David Chapman, Anibal De Almeida, Bruno De Wachter, Peter Radgen. Energy Efficient Driven Systems, April 2004, <http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int>

3. N a d e l Steven, R. Neal Elliot, Michael Shepard, Steve Greenberg, Gail Katz, Anibal T. de Almeida. Energy Efficient Motor Systems, A Handbook on Technology, Program and Policy Opportunities, Second Edition, ACE³, 2002.

4. D e t e r m i n i n g Electrical Motor Load and Efficiency, Program of the U.S. Department of Energy, www.motor.doe.gov