

## Опитно изследване на динамичното натоварване на подемен механизъм на електротелфер с честотно управление

Тони Узунов, Георги Кенаров

*Exploration of the lifting mechanism's dynamic load of a frequency controlled electric hoist motor: In the present work are exposed the results from the examination of the lifting mechanism's dynamic load of a frequency controlled electric hoist motor, which can be successfully used for improving the liability and life of the lifting mechanism. The decrease of the lifting mechanism's dynamic load is one of the greatest challenges in front of the electric hoist designers.*

**Key words:** dynamic load, electric hoist motor, frequency control.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременна тенденция за подобряване на динамичните процеси в крановите подемен механизми, задвижвани от променливотокови електродвигатели е управление на електродвигателя чрез използване на честотен инвертор (ЧИ).

Честотното управление на задвижвания със стандартни асинхронни двигатели с накъсо съединен ротор дава качествено нови възможности за регулиране на работните скорости на изпълнителните звена, въртящият момент, процесите на пускане и спиране, като отпада и необходимостта от използване на двускоростни електродвигатели. Именно по тези причини честотното регулиране се използва за решаване на разнообразни инженерни задачи в различни области на текстилната, хартиената индустрия, хранително-вкусовата промишленост и на хидравличните задвижвания, които намират широко приложение в товароподемните машини [2].

Установено е, че независимо от особеностите в работата на телферните електродвигатели с конусен ротор и статор, те могат да се управляват чрез ЧИ. При използване на честотно управление се подобрява работата на електротелфера, като се дава възможност за увеличаване производителността на електротелфера и се облекчава работата на спирачката в енергийно отношение [3].

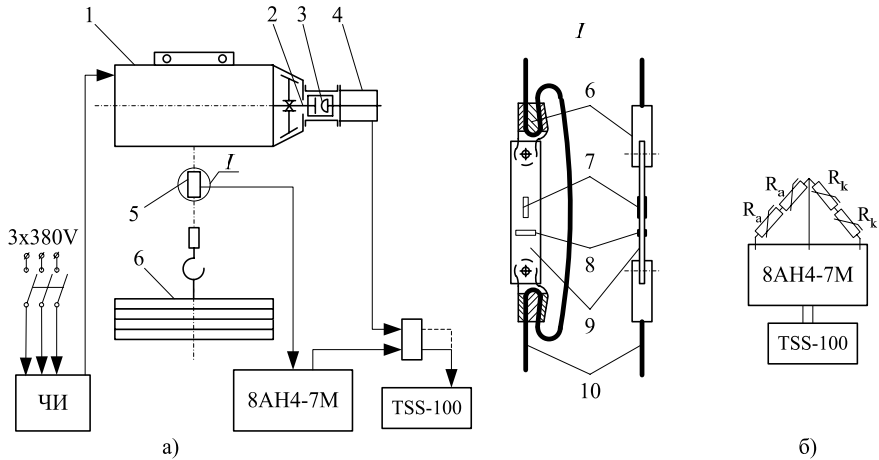
Целта на настоящата работа е да се изследва по експериментален път динамичното натоварване на подемен механизъм на електротелфер, задвижван от електродвигател с конусен ротор и статор при управление с честотен инвертор.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

За изследване динамичното натоварване на подемен механизъм на електротелфер с честотно управление е разработена опитна уредба показана на фиг. 1. Използва се подемен механизъм на възжен електротелфер 1 с номинална товароподемност 500kg. При управление с ЧИ се игнорира съществуващото и подемен механизъм се командва от инвертор тип ELDI/B 2,2 kW. Инверторът работи на принципа на двойно преобразуване на електрическата енергия, при което двигателят се захранва с управляемо по честота и амплитуда трифазно напрежение. ЧИ е снабден с дисплей и клавиатура, чрез която се дава възможност за настройка параметрите на инвертора в зависимост от типа и параметрите на управлявания двигател.

С помощта на опитната уредба могат да се регистрират силата в гъвкавия елемент (въжето) и промяната на ъгловата скорост на вала на двигателя. Силата в гъвкавия елемент 10 се измерва чрез тензометричния силоизмерител 5, закрепен в горния край на неподвижния клон на полиспафта. Активните 7 ( $R_a$ ) и компенсиращите 8 ( $R_k$ ) жични тензорезистори, залепени върху чувствителния елемент 9, са свързани в измервателен полумост (фиг. 1. б). Чувствителният елемент 9 е закрепен към гъвкавия елемент чрез ключалките 6. Измервателният полумост заедно с полумостта вграден в тензометричния усилвател 8АНЧ-7М, образуват пълен мост на Уитстън. Полученият електрически сигнал от тензорезисторите, пропорционален на силата

във въжето, се усилва от тензометричния усилвател и се регистрира от бързопишещия прибор TSS-101.



Фиг. 1. Опитна уредба:

- а) схема на опитната уредба и измервателната апаратура;  
 б) схема на свързване на тензорезисторите към тензометричната апаратура.

Тарировъчният коефициент  $k_{Fi}$  на тензометричния динамометър за различните товари се определя при висящ товар, като се записва тарировъчен сигнал (вж. фиг. 2), който отговаря на силата  $F_i$  във въжето, породена от съответното тегло на товара т.е.

$$k_{Fi} = \frac{F_i}{\bar{F}_i} \cdot \frac{N}{mm}, \quad (1)$$

където  $\bar{F}_i$  е отсечката, пропорционална на силата  $F_i$ , която се измерва от осцилограмата (фиг. 2.);

Силата  $F_i$  от теглото на товара се определя по израза

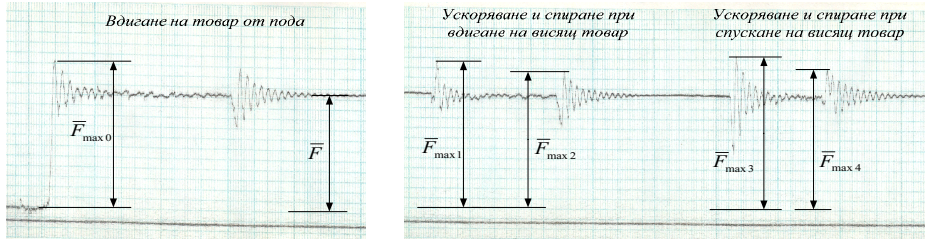
$$F_i = \frac{m_i g}{u_n}, \quad (2)$$

където  $m_i$  е масата на вдигания товар,  $kg$ ;  $g = 9,81 m/s^2$  – земното ускорение;  $u_n$  – предавателното число на полиспаста.

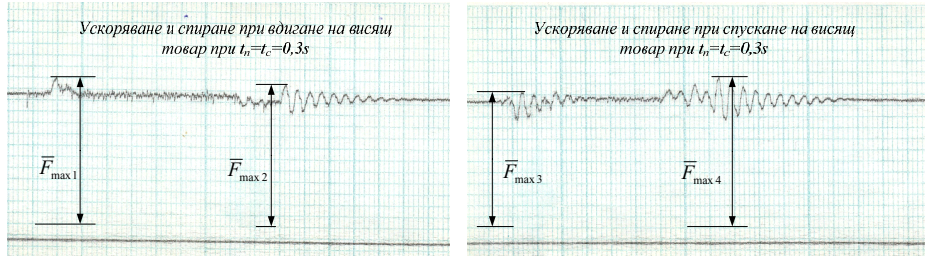
За регистриране изменението на ъгловата скорост на вала на двигателя се използва тахогенератор 4 (фиг. 1), който е свързан към вала 2 чрез компенсиращ съединител 3, осигуряващ осово преместване. Преобразуваната чрез тахогенератора ъглова скорост в напрежение се записва от регистриращия прибор TSS-101.

Проведени са опити при вдигане и спускане на товари с различна маса със седемкратна повторяемост при използване на ЧИ и при съществуващото управление. На фиг. 2 и фиг. 3 са показани осцилограми от проведени опити с товар 300kg съответно при съществуващото управление на двигателя и при използване на ЧИ. На тях е регистриран сигналът от тензометричния динамометър, като са отбелязани максималните стойности на силата  $\bar{F}_{maxi}$ , в процесите на ускоряване и спиране при вдигане и спускане на висящ товар. На фиг. 4 са показани осцилограми на изменението на ъгловата скорост на вала на двигателя  $\omega_d$  в преходните процеси от проведени опити

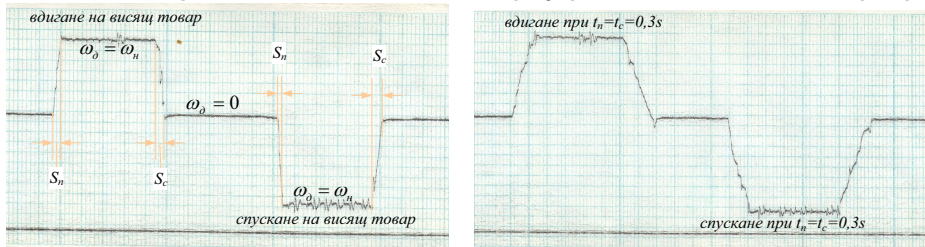
със същия товар при управление без и с инвертор.



Фиг. 2. Осцилограми на силата във въжето при съществуващото управление



Фиг. 3. Осцилограми на силата във въжето при управление с честотен инвертор



Фиг. 4. Осцилограми на изменението на ъгловата скорост на вала на двигателя:  
 а) при съществуващото управление; б) при управление с честотен инвертор.

Максималните стойности на силата  $F_{maxi}$  във въжето за процесите на ускоряване и спиране при вдигане и спускане на висящ товар се определят по израза:

$$F_{maxi} = k_{Fi} \bar{F}_{maxi}, N \quad (3)$$

където  $\bar{F}_{maxi}$  е максималното отклонение на писеца, отчетено от осцилограмите за съответния процес,  $mm$ .

От получените записи за ъгловата скорост  $\omega_0$  са намерени времената на преходните процеси на механизма. Стойностите на времето  $t_{n(c)i}$  при пускане ( $n$ ) и спиране ( $c$ ) на подемния механизъм при вдигане и спускане на висящ товар се определят по израза:

$$t_{n(c)i} = \frac{S_{n(c)i}}{v_x}, s \quad (4)$$

където  $S_{n(c)i}$  е пътят, който изминава регистрационната хартия на пишещия прибор за времето на ускоряване (спиране), измерен от осцилограмата,  $mm$ ;  $v_x$  – скоростта на движение на регистрационната хартия,  $mm/s$ .

Извършена е статистическа обработка на опитните данни от осцилограмите и чрез зависимости (3) и (4) са получени стойности за  $F_{maxi}$  и  $t_{n(c)i}$ , дадени в табл.1.

Таблица 1

Резултати от опитното изследване

m, kg	Управление	Вдигане на товара				Спускане на товара			
		$F_1, N$	$F_2, N$	$t_n, s$	$t_c, s$	$F_3, N$	$F_4, N$	$t_n, s$	$t_c, s$
100	без ЧИ	664,2	604,8	0,071	0,097	606,7	623,4	0,058	0,105
	с ЧИ	558,7	542,8	0,248	0,321	548,2	551,7	0,243	0,304
200	без ЧИ	1302,5	1154,5	0,085	0,095	1257,3	1187,6	0,062	0,108
	с ЧИ	1105,2	1053,6	0,262	0,341	1115,8	1096,4	0,263	0,357
300	без ЧИ	1986,3	1864,8	0,088	0,085	2018,9	1781,9	0,065	0,152
	с ЧИ	1637,2	1648,9	0,275	0,342	1621,6	1636,5	0,264	0,361
400	без ЧИ	2497,6	2506,2	0,091	0,081	2697,3	2349,8	0,061	0,176
	с ЧИ	2175,3	2164,8	0,277	0,356	2182,2	2211,3	0,261	0,391
500	без ЧИ	3143,3	3165,2	0,108	0,079	3462,8	3009,8	0,054	0,187
	с ЧИ	2602,3	2651,1	0,282	0,351	2618,9	2692,4	0,258	0,426

С помощта на табличните данни за максималната сила на опън във въжето и продължителността на процесите на ускоряване и спиране на товара са определени коефициентът на динамичност  $k_{di}$  и ускорението (закъснението)  $a_i$  на товара за преходните процеси, съответно по зависимостите:

$$k_{di} = F_{maxi} / F_i \quad (5)$$

$$a_i = v / 60t_{n(c)i}, m/s^2, \quad (6)$$

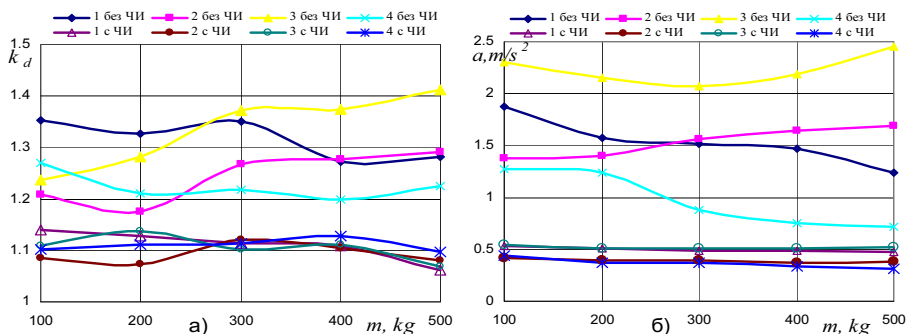
където  $v$  е скоростта на вдигане на товара,  $m/min$ .

В табл. 2 са дадени получените стойности за коефициента на динамичност и ускорението при съществуващото управление (без ЧИ) и при управление с ЧИ, като индексите 1 и 2 се отнасят за преходните процеси ускоряване и спиране при вдигане на товара, а 3 и 4 на процесите ускоряване и спиране при спускане на товара. С помощта програмен продукт EXCEL са построени графични зависимости на коефициентът на динамичност и ускорението от масата на товара показани на фиг. 5.

Таблица 2

Стойности за коефициента на динамичност и ускорението

m, kg	Управление	Вдигане на товара				Спускане на товара			
		$k_{d1}$	$k_{d2}$	$a_1, m/s^2$	$a_2, m/s^2$	$k_{d3}$	$k_{d4}$	$a_3, m/s^2$	$a_4, m/s^2$
100	без ЧИ	1,354	1,209	1,878	1,374	1,237	1,271	2,298	1,269
	с ЧИ	1,139	1,085	0,538	0,415	1,109	1,103	0,548	0,438
200	без ЧИ	1,328	1,176	1,569	1,403	1,281	1,211	2,152	1,234
	с ЧИ	1,127	1,074	0,509	0,391	1,137	1,112	0,507	0,373
300	без ЧИ	1,350	1,267	1,513	1,568	1,372	1,211	2,074	0,877
	с ЧИ	1,113	1,121	0,484	0,389	1,102	1,113	0,505	0,369
400	без ЧИ	1,273	1,277	1,465	1,646	1,375	1,198	2,185	0,758
	с ЧИ	1,109	1,105	0,481	0,374	1,112	1,127	0,511	0,341
500	без ЧИ	1,282	1,291	1,235	1,687	1,412	1,226	2,451	0,713
	с ЧИ	1,061	1,081	0,473	0,379	1,068	1,098	0,518	0,313



**Фиг. 5. Зависимости  $k_d=f(m)$  и  $a=f(m)$  за преходните процеси при:**  
 1 – ускоряване при вдигане на висящ товар; 2 – спиране при вдигане;  
 3 – ускоряване при спускане; 4 – спиране след спускане.

След анализ на получените осцилограми се установи, че при съществуващото управление на подемния механизъм, възникващата динамична сила в преходните процеси предизвиква затихващи трептения в системата товар-електротелфер, които се предават на елементите на електротелфера и металната конструкция, на която той е окачен. Тези трептения пораждат променливи напрежения, които водят до умора на материала на елементите на електротелфера и металната конструкция. При управление с ЧИ възникващите трептения в системата товар-електротелфер за същите преходни процеси са с няколко пъти по-ниска амплитуда, което благоприятства силовото натоварване на електротелфера и дълготрайността на елементите му.

От построените графики на  $k_d=f(m)$  и  $a=f(m)$  се вижда, че коефициентът на динамичност и ускорението при съществуващото управление на електротелфера при различните преходни процеси се променят в широки граници, съответно от  $1,17 \div 1,41$  и  $0,71 \div 2,45 \text{ m/s}^2$ . Получените стойности на ускорението превишават многократно предписаните, в зависимост от условията на работа на подемните механизми, допустими ускорения  $[a]$ , вариращи от  $0,1$  до  $0,8 \text{ m/s}^2$  [1]. При управление с ЧИ изменението на  $k_{dj}$  и  $a$  е в много по-тесни граници, съответно от  $1,06 \div 1,13$  и  $0,31 \div 0,55 \text{ m/s}^2$ , което води до намаляване на динамичното натоварване на електротелфера с  $3 \dots 4$  пъти в сравнение с това при съществуващото управление.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От анализа на получените резултати при експерименталното изследване могат да се направят следните основни изводи:

- При използване на честотно управление възникващите трептения, по време на преходните процеси в системата товар-електротелфер, са с няколко пъти по-ниска амплитуда в сравнение със същите при съществуващото управление, което благоприятства силовото натоварване и дълготрайността на елементите на телфера.
- Възникващите ускорения при съществуващото управление на електротелфера превишават многократно предписаните допустими ускорения при различни условия на работа на подемните механизми.
- По експериментален път е установено, че управлението с честотен инвертор води до намаляване на динамичното натоварване на елементите на електротелфера с  $3 \dots 4$  пъти в сравнение с това при съществуващото управление.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Дукельский, А.И. и др. Справочник по краном. Т. 2. Л., Машиностроение, 1973.
- [2]. Попов, Г.С., М.Г. Михайлов, К.И. Тужаров. Изследване ефективността на методите за регулиране дебита на обемните помпи. Механика на машините, №79, ТУ-Варна, 2008, стр. 9-12.
- [3]. Узунов, Т.И., Г.Г. Кенаров. Изследване на възможности за честотно управление на телферен електродвигател с конусен ротор и статор. Механика на машините, ТУ-Варна, 2008, (под печат).

### За контакти:

Д-р инж. Тони Иванов Узунов, катедра "Теория на механизмите и машините, Подемно-транспортна техника и технологии", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082/ 888 664, 888 239, Е-mail: [tuzunov@ru.acad.bg](mailto:tuzunov@ru.acad.bg).

Доц. д-р инж. Георги Кенаров, катедра „Теория на механизмите и машините, Подемно-транспортна техника и технологии“, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 082 888 664, Е-mail: [gkenarov@ru.acad.bg](mailto:gkenarov@ru.acad.bg).

**Докладът е рецензиран.**