



---

## **НЯКОИ ВЪПРОСИ И РЕШЕНИЯ ПРИ ИЗВЪРШВАНЕ НА ПРОЦЕС НА ОБНОВЯВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКО ОБОРУДВАНЕ НА ТОВАРОПОДЕМНИ КРАНОВЕ**

**Калин Радлов<sup>1</sup> Красимир Кръстанов<sup>2</sup> Лъчезар Лазов<sup>3</sup>**  
[radlov\\_fce@uacg.bg](mailto:radlov_fce@uacg.bg), [kkrastanov@vtu.bg](mailto:kkrastanov@vtu.bg), [llazov@tu-sofia.bg](mailto:llazov@tu-sofia.bg)

<sup>1</sup>УАСГ - София, <sup>2</sup>ВТУ "Тодор Каблешков", <sup>3</sup>Технически университет - София,  
**БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** товароподемен кран, електрическо оборудване, обновяване

**Резюме:** Настоящата разработка разглежда въпросите, както и някои предложения за тяхното решаване, които често пъти възникват при извършване на процес на обновяване на електрическото оборудване на товароподемни кранове. Разгледани са част от основните принципи и изисквания, които трябва да бъдат спазени за направа на подходящ подбор на нови електродвигатели за подедни механизми на кранове в съответствие с новите европейски стандарти. Описани са основните технически параметри и критерии за извършване на проверочни изчисления за оценка на съответствието на новото оборудване с изискванията на нормите и стандартите. Накрая е предложен съвременен подход за извършване на многокритериална оценка на различни съществуващи варианти за обновяване на електрическо оборудване на товароподемен кран, чрез който може да се постигне оптимален избор.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Товароподемните кранове представляват най-често използваните средства за механизация на то-варо-разтоварните и монтажните работи в производствените цехове и предприятия, както и във всички видове строителство. Напоследък все повече нарастват изискванията от гледна точка на подбор на високоефективно и икономично електрическо оборудване при извършване на процеси на модернизация на крановете, както и се засилват изискванията за спазване на предписанията на новите Европейски стандарти.

Правилният подбор на ново електрическо оборудване с адекватни технико-икономически показатели за съществуващите кранове, оказва силно влияние не само върху размера на необходимите разходи за модернизацията на крана, но и върху общите експлоатационни разходи за използване и под-държане на крана.

### **1. ПРИВЕЖДАНЕ НА МОЩНОСТТА НА ИЗБРАНИЯ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛ**

В товароподемните кранове се използват предимно специални кранови електродвигатели, но също така все по често приложение намират и общо-промишлените електродвигатели. Основно използваните електродвигатели са

асинхронни колекторни двигатели с навит ротор, но в някои случаи успешно могат да се използват и електродвигатели с накъсосоъединен ротор.

В зависимост от начина си на използване електродвигателите попадат в един от режимите на работа S1, S2...S8, определени в хармонизиран стандарт БДС EN 60034-1:2010 [1].

Електродвигателите при товароподемните кранове работят в повторно-кратковременен тежим на работа S3 според [1], чиито основни характеристики са относителната продължителност на работата ОПР, % и класа на броя на включванията. Специално за електродвигателите на товароподемните кранове са установени следните стандартни стойности на ОПР, %, а именно: 15, 25, 40 и 60%, за които ОПР в каталозите за избор на електродвигателите обикновено са посочени и мощностите им или се предоставят коефициенти за коригиране на мощността в зависимост от ОПР.

Номиналната мощност, посочена от производителя, обикновено е най-голямата мощност, която двигателят може да развие на вала си за продължително време, без да загрее над допустимата за изо-лацията му температура т.е. тази мощност се отнася само за продължителна/непрекъсната работа на двигателя, при която се достига температурно равновесие (режим S1). Но както е известно при подемните кранове товарът на двигателя се променя и това трябва да бъде отчетено при проектирането на новото електрическо задвижване.

Внимателният поглед върху режимите на работа по БДС EN 60034-1:2010 показва, че съществуват две ясно изразени групи режими: първа група – режими S2, S3 и S6 позволяват да се избере по-висока мощност на двигателя в сравнение с необходимата мощност при непрекъснатия режим на работа S1, тъй като работата под товар е с продължителност при която двигателят не достига температурно равновесие; втора група – режими S4, S5, S7 и S8 позволяват избор на по-ниска мощност в сравнение с работата в режим S1, защото по време на работа, поради честите претоварвания в режим на пускане и режим на спиране, двигателят ще се загрива повече, отколкото в режим S1.

Привеждането на мощността на новия електродвигател към конкретните условия на работа (в т.ч. към ОПР'Ф' - фактическо) би могло да бъде извършено по няколко начина, но при стриктно спазване на указанията от производителя на двигателя.

Съгласно стандарт БДС EN 13135:2013 [2] фактическата относителна продължителност на работата се изчислява по следната зависимост:

$$(1) \quad ОПР'Ф' = (t_1 * 100) / (t_1 + t_2) [\%]$$

където  $t_1$ [sec] е време за работа на съответния механизъм в рамките на 1 работен цикъл на крана;

$t_2$ [sec] – време на покой на съответния механизъм в рамките на 1 работен цикъл на крана.

При колекторните електродвигатели с навит ротор, ако режимът на работа (в т.ч. фактическата относителна продължителност на работата ОПР"Ф", %) се различава от указаните в техническата документация/каталога на електродвигателя стандартни стойности, то тогава необходимата мощност на електродвигателя при ОПР"Ф" трябва да се приведе към стойност, която да съответства на стандартната стойност от каталога - ОПР"Н" [3].

Обикновено за коригиране на мощността при режим S3 се приемат по-консервативните стойности на коригиращите коефициенти за мощността, които се задават от производителя. При използване на коефициенти на режима на работа  $K_{pp}$ , например за повечето типове асинхронни електродвигатели с кафезен ротор, ориентировъчно може да се приеме: За S3(100%) –  $K_{pp} = 1.0$ ; за S3(25%) –  $K_{pp} = 1.4$ .

При използване на коефициенти по време на непрекъсната кратковременна работа на механизма в рамките на 1 час, след което двигателя напълно се охлажда до температурата на околната среда (режим на работа на двигателя S2), например може ориентировъчно да се приеме: За работа до 10 min –  $K = 1.4$  ; ..... за работа до 60 min –  $K = 1.1$ .

При асинхронните кранови двигатели с кафезен ротор, които оперират при променлива честота (инверторно управление) обикновено се налага първо да се преизчисли номиналната мощност на двигателя според параметрите на работния режим  $f_x [Hz]$  – работна (фактическа) честота на захранващото напрежение и режим на работа на двигателя. Тъй като при тези условия обикновено двигателите трябва да са с принудително охлаждане (тип IC416), то първо трябва да се изчисли въртящият момент:

$$(2) \quad M_{IC416}(f_x) = M_{НО.ДВ} \cdot \sqrt{\frac{1 - K_M \cdot \left(\frac{f_x}{f_H}\right)^{1.3}}{1 - K_M}}$$

където:  $f_H [Hz]$  е номинална честота на захранващото напрежение;

$M_{НО.ДВ} [N.m]$  – номиналният момент на електродвигателя;

$K_M$  е коефициент зависещ от размера на двигателя и броя на полюсите, като точната му стойност се предоставя от производителя. Обикновено за 4, 6 и 8 полюсни двигатели с размер от 132 до 225 –  $K_M \approx 0,15$ .

Коригираната мощност на електродвигателя за работната честота  $f_x [Hz]$  може да се изчисли по следната зависимост:

$$(3) \quad P_{IC416}(f_x) = \frac{M_{IC416}(f_x)}{1000} \cdot \frac{f_x}{f_H} \cdot \frac{\pi}{30}$$

Чак тогава при двигателите опериращи с променлива честота (инверторно управление) може да се определя и коригираната мощност за фактическия режим на работа (например S3) в зависимост от фактическата ОПР ‘ $\Phi$ ’ %:

$$(4) \quad P_{S3} = P_{S1} \cdot \sqrt{1 + \frac{\left(1 - \frac{ОПР \Phi'}{100}\right) \cdot b_0}{(1 - K_0) \cdot \frac{ОПР \Phi'}{100}}}$$

където коефициентите  $K_0$  и  $b_0$  се предоставят от производителя. За 4, 6 и 8 полюсни двигатели с размер от 132 до 225 –  $K_0 \approx 0,21$ ;  $b_0 \approx 0,30$ .

Уточняването на параметрите на фактическия режим на работа на електродвигателя (брой операции за час; работно време; брой работни цикли за час и т.н.) представляват важна основа за топлинното изчисляване на електродвигателите, като този въпрос трябва задължително да бъде съгласуван между производителя/доставчика и ползвателя на крана. В случай, че това не е възможно се допуска да се използват стандартните таблици от БДС EN 13135:2013 [2].

## 2. ОБНОВЯВАНЕ НА ПОДЕМЕН МЕХАНИЗЪМ НА ТОВАРОПОДЕМЕН КРАН

### 2.1. Проверка по необходима статична мощност на избрания двигател

Проверката на мощността на избрания двигател за подемен механизъм обикновено се извършва въз основа само на статичната мощност, тъй като динамичната мощност има доста по-малки стойности, а освен това тя се проявява само при

пускането/спирането на механизма на крана, което е сравнително малко време спрямо общото време за работа на двигателя, и в повечето случаи може да се пренебрегне. Необходимата статична мощност се изчислява по установената зависимост:

$$(5) \quad P_{CT} = \frac{(m_T + m_G) \cdot g \cdot v}{\eta_M} [W]$$

$\eta_M$  [/] – общ К.П.Д. на подемния механизъм [3];

$m_T$  [kg] – маса на товара;

$v$  [m/s] – номинална скорост на вдигане на подемния механизъм;

$m_G$  [kg] – собствена маса на товарозахватното приспособление. Съгласно стандарт БДС EN 4310:2010 Кранове. Правила и методи за изпитване [4] в нормалния случай тук се включват само масата на ролковия блок и куката.

След това въз основа на изчислената статична мощност  $P_{CT}$  [W] трябва да се изчисли интервалът на необходимата мощност за новия двигател  $P_{CT.НЕОБХ} = (0.8 \div 1.1) \cdot P_{CT}$  [W], като са възможни два варианта:

Вариант първи - за механизми с инверторно управление обикновено се взема по-високата мощност ( $1.1 \cdot P_{CT}$ ) поради факта, че захранващия инвертор е способен да управлява времето за пускане без необходимост от допълнителен маховик, а от друга страна при ниска мощност на двигателя съществува опасност да се получи спад на напрежението и въртящия момент (особено при инвертори със скаларно управление) за кратък период от време, което може да доведе до леко пропадане на товара при подемните механизми. При инвертори с векторно управление този недостатък може да се избегне, но този вид управление изисква много точно познаване на динамиката на механизма и наличието на абсолютна обратна връзка.

Вариант втори - за двигатели, които се захранват директно от електрическата мрежа (т.е. без инвертори) е препоръчително да се вземе по-малката мощност ( $0.8 \cdot P_{CT}$ ), тъй като големият пусков момент ще доведе до необходимост от влагането на множество допълнителни елементи в кинематичната верига на механизма. Това се наблюдава не само при електродвигатели с кафезен ротор, но и дори при колекторни двигатели с навит ротор. При тези двигатели е налице сравнително висока стойност на показателя за еластичност на работната характеристика -  $\Delta M / \Delta n$  (естествена характеристика). За осигуряване на нормално стартиране на механизма при колекторни двигатели с навит ротор е необходимо да се включат допълнителни електрически съпротивления (реостати) във веригата на ротора, чрез които да се снижи параметъра  $\Delta M / \Delta n$  до необходимите за плавно стартиране стойности (изкуствени характеристики). Този вид реостатно управление обаче е неприложим при двигателите с кафезен ротор.

Накрая се извършва проверката:

$$(6) \quad P_{НОМ}' > P_{CT.НЕОБХ} [kW],$$

където  $P_{НОМ}'$  [kW] е приведената мощност.

## 2.2. Проверка по необходим номинален въртящ момент на електродвигателя

Изчислява се необходимият статичен момент на вала на новия двигател при вдигане:

$$(7) \quad M_{CT.ВД} = \frac{(m_T + m_G) \cdot g \cdot D_B}{i \cdot a \cdot \eta_M \cdot i_P}$$

където  $D_B$  [m] е диаметър на товароподемния барабан;

$i$ [/] – коефициент;  $i=2$  – при сдвоен полиспасть/барабан);

$i_p$  [/] – предавателно число на редуктора на подемния механизъм;

$a$ [/] – кратност на полиспада.

След това се изчислява реално реализираният номинален въртящ момент на вала на избрания нов (обновен) електродвигател по приведената номинална мощност [2]:

$$(8) \quad M_{НОМ.ДВ} = \frac{9550 \cdot P_{НОМ}}{n_{ДВ}} [N.m]$$

където  $n_{ДВ}$  [ $\text{min}^{-1}$ ] е номиналната честота на въртене на електродвигателя;

Извършва се проверката по номинален въртящ момент на електродвигателя, необходим за вдигане на номинален товар:  $M_{НОМ.ДВ} \geq M_{СТ.ВД}$

### 2.3. Проверка по необходим максимален въртящ момент на електродвигателя

Проверката за достатъчност на максималния въртящ момент на избрания електродвигател се извършва в съответствие с изискванията на стандарт БДС EN 13135:2014 [2]. В общия случай изпълнението на този критерий се явява необходимото условие за да може механизмът да потегли/статртира нормално своята работа. Проверката за всички електродвигатели, които се управляват с честотни инвертори се изразява в изпълнение на следното условие:  $1.3 * M_{СТ.ВД} \leq M_{ДВ.МАХ}$  ; За асинхронни електродвигатели с навит ротор -  $1.8 * M_{СТ.ВД} \leq M_{ДВ.МАХ}$  ; За асинхронни електродвигатели с накъсо съединен ротор (кафезен ротор) с директно пускане -  $1.5 * M_{СТ.ВД} \leq M_{ДВ.МИН}$  ;

където  $M_{ДВ.МАХ}$  [ $N.m$ ] е максималният въртящ момент на електродвигателя (Breakdown Torque);

$M_{ДВ.МИН}$  [ $N.m$ ]- минималният момент на електродвигателя по време на пускане (Pull-up Torque).

### 2.4. Проверка по необходим спиращ момент

Изчислява се статичният момент на вала на обновявания електродвигател при спускане:

$$(9) \quad M_{СТ.СПУ} = \frac{(m_T + m_G) \cdot g \cdot D_B \cdot \eta_M}{i \cdot a \cdot i_p} [N.m]$$

Изчислява се необходимият спиращ момент на вала на обновявания електродвигател от гледна точка възможността за спиране на окачения на куката товар:

$$(10) \quad M_{СТ.СП1} = k_C \cdot M_{СТ.СПУ} [N.m]$$

където  $k_C$  [/] е необходим коефициент на сигурност при спиране на подемния механизъм. Съгласно [3] в зависимост от режима на работа за подемни механизми се изисква:  $k_C = 1.5 \div 2.5$ .

От гледна точка на възможността за задържане (спиране) на вала на двигателя в стандарт БДС EN 13135:2014 [2] се изисква необходим механичен спиращ момент на вала на избрания електродвигател  $M_{СТ.СП}$ , който трябва да бъде минимум равен на:

$M_{СТ.СП2} \geq 2,0 \cdot M_{НОМ.ДВ} \cdot \eta_M^2$  - за статичен спиращ момент. Това е необходимият минимален момент упражняван върху спиращия барабан, който трябва да се създава от спиращката при състояние на покой (т.е. при спрял механизъм);

$M_{\text{дин.сп}} \geq 1,5 \cdot M_{\text{ном.дв}} \cdot \eta_M^2$  - за динамичен спирачен момент. Това е спирачният момент, който трябва да се създава от спирачката през цялата продължителност на спирачния цикъл (т.е. по време на спирането на механизма).

Избраният спирачен момент  $[M_{\text{ст.сп}}]$  трябва да бъде достатъчно висок, за да осигури достатъчна сигурност при спиране на механизмите на крана, както и да се избегнат прекалено големи закъснения при спирането. От друга страна избраният  $[M_{\text{ст.сп}}]$  не трябва да има прекалено висока стойност, тъй като тогава спирането ще стане прекалено "рязко" и ще има много високи ускорения при спиране. Общото правило е, че при избор на спирачки, които реално се използват за спиране (а не само за позициониране и задържане) трябва да се спазва изискването  $[M_{\text{ст.сп}}] \geq M_{\text{ст.сп.1}}$ .

В случаите, когато избраната спирачка има прекалено голям  $[M_{\text{ст.сп}}]$ , то в работния проект за модернизацията на крана се допуска да има предписание за регулиране на  $[M_{\text{ст.сп}}]$

### 3. МНОГОКРИТЕРИАЛНА ОЦЕНКА НА ВЪЗМОЖНИТЕ ВАРИАНТИ ЗА ОБНОВЯВАНЕ НА ЕЛ.ОБОРУДВАНЕТО

#### 3.1. Критерии за удовлетворяване на необходимите технически параметри

Удовлетворяването на необходимите технически параметри за електрооборудването е основен критерий за оценяване. Оценката на всеки от възможните варианти за крана по този критерий се определя съгласно зависимостта:

$$(11) \quad R_B = E_B * G_B$$

където:  $G_B$  - тегловен коефициент. Тегловният коефициент тук се приема:  $G_B = 10$ ;

$E_B$  - коефициент на оценката;

Електрическо оборудване, чиито технически параметри в минимална степен (с най-близките стойности) удовлетворяват необходимите изисквания се оценява:  $E_B = +10$ ;

Електрическо оборудване, чиито технически параметри в значителна степен удовлетворяват необходимите изисквания (т.е дори ги надхвърлят значително) се оценява:  $E_B = +7$ ;

#### 3.2. Критерии за ремонтпригодност

Вземат се под внимание фактори като: възможност за ремонт и поддръжка на новото електрооборудване, достъпност за ремонт, удобство при ремонт, цена на ремонта и т.н. Оценката по този критерий се определя:

$$(12) \quad R_P = E_P * G_P$$

Работоспособността на крана е пряко свързана с възможността за извършване на ремонт на дефектиралото електрооборудване. Поради тази причина стойността на тегловния коефициент се приема:  $G_P = 5$ ;

Електрическо оборудване, което в максимална степен удовлетворява всички показатели за ремонтпригодност се оценява:  $E_P = +10$ ;

Електрическо оборудване, при което има сложни условия за ремонт, труднодостъпност, или неоправдан разход на средства или време за ремонт, се оценява:  $E_P = +5$ .

#### 3.3. Критерии за икономическа целесъобразност

Вземат се под внимание фактори като: първоначална цена на електрооборудването; цена за проверка/тестване на оборудването преди въвеждане в експлоатация; цена за

монтаж, ниво на експлоатационни разходи и т.н. Оценката по този критерий се определя:

$$(13) \quad R_C = E_C * G_C$$

Стойността на тегловния коефициент тук се приема:  $G_C = 2$ . Оборудване, което в най-висока степен удовлетворява всички показатели за икономичност се оценява:  $E_C = +10$ , а оборудването с най-ниската степен -  $E_C = +5$ ;

### **3.4. Изчисляване на сумарна оценка**

За всеки от възможните варианти за обновяване на електрооборудването на крана се изчислява сумарна оценка по зависимостта:

$$(14) \quad R_O = R_B + R_P + R_C$$

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящата разработка са разгледани основните въпроси при извършване на процес на обновяване на електрооборудване на товароподемни кранове. Разгледани са част от основните принципи и изисквания, които трябва да бъдат спазвани за направа на правилен подбор на ново електрическо оборудване за подемните механизми на крановете в съответствие с новите европейски стандарти. Описани са основните технически параметри и критерии за извършване на проверочни изчисления за оценка на съответствието на новото оборудване с изискванията на стандартите. Накрая е предложен съвременен подход за извършване на многокритериална оценка на различни съществуващи варианти за ново оборудване на кран, за направа на оптимален избор.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] БДС EN 60034-1:2010 - Въртящи се електрически машини. Част 1: Обявени данни и работни характеристики;
- [2] БДС EN 13135:2013 - Кранове. Безопасност. Проектиране. Изисквания за обзавеждането;
- [3] Коларов Ив., М.Проданов, П.Караиванов. Проектиране на товароподемни машини. С., „Техника”, 1986г;
- [4] БДС EN 4310:2010 - Кранове. Правила и методи за изпитване.

# SOME QUESTIONS ARISING AND THEIR ANSWERS FROM MODERNIZATION PROCESS OF CRANE ELECTRICAL EQUIPMENT

Kalin Radlov<sup>1</sup>, Krasimir Krastanov<sup>2</sup>, Lachezar Lazov<sup>3</sup>  
radlov\_fce@uacg.bg, kkrastanov@vtu.bg, llazov@tu-sofia.bg

<sup>1</sup>University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, <sup>2</sup>Todor Kableshkov University  
of Transport, <sup>3</sup>Technical University of Sofia  
BULGARIA

**Key words:** hoist crane, electrical equipment, modernization

**Abstract:** Lifting cranes are the most commonly used means of mechanization of the loading and unloading and assembly works in the production workshops and enterprises, as well as in all types of construction. Recently, requirements have been growing in terms of selection of high-efficiency and economical electrical equipment for crane modernization processes and the compliance requirements of new European standards have been strengthened.

The rated power indicated by the manufacturer is usually the highest power that the engine can run on its shaft for a long time without heating above the temperature acceptable for its isolation, this power refers only to the continuous / continuous operation of the engine at which temperature equilibrium is reached (mode S1). However, as the lifting cranes are known, the engine load changes and this must be taken into account when designing the new electric drive.

Checking the power of the selected engine for the lifting gear is usually done on the basis of static power only, since the dynamic power has much lower values, and it only occurs when the crane mechanism is started / stopped, which is relatively small time in relation to the total engine running time, and in most cases may be disregarded.

Verification of the maximum torque of the selected electric motor is performed in accordance with the requirements of standard BSS EN 13135: 2014. Generally, meeting this criterion is a necessary condition for the mechanism to start / roll off its work normally.

The present paper deals with some questions, and their answers, which very often are arising, when performing a modernization process of crane electrical equipment. There are reviewed a couple of basic rules and principles, which have to be observed for optimal selection of the new electrical equipment for hoist mechanisms of the crane, according to the new European standards. There are also reviewed the main characteristic data and technical parameters, which are necessary for performing verification of the new electrical equipment with regard to the norms and standards. At the end – there is purposed an approach for performing a multi-criteria assessment of the different options existing for crane's electrical equipment modernization, with the purpose of optimal effect.