

# ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА НАДЕЖНОСТТА НА ТОВАРОПОДЕМНИТЕ КРАНОВЕ ВЪРХУ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА ИМ

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF RELIABILITY OF LOAD LIFTING CRANES ON THEIR EXPLOITATION

гл.ас. д-р инж. Кръстанов Кр.

ВТУ „Т.Каблешков”, ул. Гео Милев 158, гр.София 1574, България  
катедра „Подемно-транспортни и строителни машини и системи”

**Резюме:** Целта на настоящата работа е да се направят анализи на експлоатационната надеждност на товароподемните кранове в зависимост от режимите им на работа и при определен режим на крана и идентифициран клас на натоварване на елементите му да се предложи методика за оценка на остатъчния му ресурс.

Предложена е методика за изследване на експлоатационната надеждност на товароподемните кранове, чрез определяне на средната интензивност на отказите, денонощния фонд от време на работа на машината, максималната възможна среднодневна експлоатационна производителност, средния срок на експлоатация на машината до бракуване.

**Ключови думи:** товароподемни кранове, надеждност, режим на работа, експлоатационна производителност, ресурс

**Abstract:** The purpose of this work is to make analyzes of the operational reliability of Load Lifting Cranes depending on their operation mode and under certain mode of the crane and identified class of loading on its components to be proposed a methodology for evaluation of the residual resource.

A methodology for investigation of the operational reliability of Load Lifting Cranes is proposed by determining the average intensity of refusals, daily fund of the time of operation, the maximum possible average daily operational performance, the average lifetime of the machine until its scrapping.

**Key words:** load lifting cranes, reliability, operation mode, operational performance, resource

### 1. Въведение

Товароподемните кранове са подемно-транспортни машини с циклично действие, предназначени за механизирани и автоматизирани на пространственото преместване на товарите във всички сфери на производството, складирането и транспортирането [1].



фиг.1 Двугредов товароподемен кран [4]

Комплексна характеристика на товароподемните кранове е тяхната среднодневна експлоатационна производителност. Тя се явява функция на коефициента на използване по време, коефициента на натоварване, продължителност на работа през денонощието, продължителност на работа на отделните механизми и продължителност на цикъла в неявен вид. Чрез тези показатели се определя експлоатационния режим на работа на крана.

Всеки товароподемен кран е оразмерен за точно определен конструктивен режим на работа, който определя граничните условия за експлоатация.

Режим на работа на подемно-транспортните машини /ПТМ/ е съвкупност от фактори, които влияят върху умората на материала на съставните елементи на машината и определят тяхната дълготрайност и оттук на цялата машина. Следователно те определят условията за експлоатация на ПТМ.

### 2. Методика за изследване на надеждността на товароподемните кранове

За произвежданите в България кранове режимът на работа се определя с БДС ISO 4301-1 в зависимост от продължителността на работа по време /А/ и използването по товароподемност /Б/ на натоварения механизъм [3].

Режимът на работа на крана се определя, като се вземат под внимание два фактора [БДС ISO 4301-1, 2001]:

- клас на използване - определя се в зависимост от общият брой работни цикли на крана за пълния срок на експлоатацията му. От класификационна гледна точка се счита, че работният цикъл започва, като товарът е готов за вдигане и завършва, когато кранът е готов да вдигне следващият товар. Общият брой работни цикли е сумата от всички работни цикли за зададения срок на експлоатация на крана. Диапазонът от възможния брой работни цикли е разделен на десет класа на използване - табл. 1.

Таблица 1 - Класове на използване на кранове

Клас на използван	Максимален брой на работните цикли	Забележки
U <sub>0</sub>	1,6 x 10 <sup>4</sup>	Рядко използване
U <sub>1</sub>	3,2 x 10 <sup>4</sup>	
U <sub>2</sub>	6,3 x 10 <sup>4</sup>	
U <sub>3</sub>	1,25 x 10 <sup>5</sup>	
U <sub>4</sub>	2,5 x 10 <sup>5</sup>	Регулярно използване със слаба интензивност

U <sub>5</sub>	5 x 10 <sup>5</sup>	Регулярно използване със средна
U <sub>6</sub>	1x10 <sup>6</sup>	Нерегулярно използване с висока
U <sub>7</sub>	2 x 10 <sup>6</sup>	Интензивно използване
U <sub>8</sub>	4 x 10 <sup>6</sup>	
U <sub>9</sub>	над 4x10 <sup>6</sup>	

- клас на спектъра на натоварване - свързан е с броя повдигания на товари с определена маса, изразени в относителни стойности спрямо товароподемността на крана и се характеризира от коефициента на спектъра на натоварване -  $K_p$ . При наличие на информация за масата и броя на товарите повдигани за срока на експлоатация на крана, коефициентът за спектъра на натоварване на крана,  $K_p$  се изчислява по формулата:

$$(1) \quad K_p = \sum \left[ \frac{C_i}{C_T} \left( \frac{P_i}{P_{\max}} \right)^m \right]$$

където  $C_i$  е средният брой работни цикли за всяко ниво на отделните товари -  $P_i$  ;

$C_T$  - сумата от циклите на отделните товари за всички товарни нива -  $C_T = \sum C_i$  ;

$P_{\max}$  е най-тежкия товар, който крана може да вдигне  $P_{\max} = Q_{\text{ном}}$  ;  $m = 3$ .

Товароподемните кранове в реални условия са поставени да действат в режим по-тежък от конструктивния. По този начин се повишава производителността на товароподемните кранове. От тук се получава обаче по-бързо износване на механизмите, увеличаване на пълните откази и нарушаване на условията по охрана на труда. Работещи при режим по-тежък от конструктивния машините по-бързо се амортизират, това може в известна степен да се компенсира с по-голямо количество товар обработван за по-малък срок.

При тези условия обаче се получават откази, които водят до намаляване на производителността, изискват допълнителни средства за тяхното отстраняване. Недопустимо е да не се спазват правилата за безопасна експлоатация на товароподемните кранове, тъй като се създават условия за тежки аварии и злополуки. Всичко това налага разработването на уравнения и алгоритми, отчитащи конструктивната надежност на товароподемните кранове при моделиране на товаро-разтоварните процеси, извършвани с тях.

За намиране на средния срок за експлоатация до бракуване на товароподемните кранове за най-натоварения им механизъм може да се предложи следната зависимост:

$$(2) \quad T_{kp} = N_p^b \cdot T_p^b \cdot \frac{PB^k}{100}, \quad h$$

където:

$N_p^b$  е среден срок за работа на товароподемния кран до бракуване, год

$T_p^b$  - максимална продължителност в конструктивен режим в часове за една година.

При режим по-тежък от конструктивния може да се запише уравнението:

$$(3) \quad k(m, n) = \frac{N_p}{N_p^*} = \frac{T_p^* \cdot PB^*}{T_p \cdot PB}$$

$k$  - показва колко пъти се намалява средния експлоатационен срок на бракуване на товароподемния кран с конструктивен режим  $m$  при работа в режим  $n$

Въвеждаме коефициент за използване на механизма в денонощието:

$$K_D = \frac{\text{часове на работа в денонощието}}{24}$$

Също така може да въведем и коефициент за използване на механизма през годината

$$K_G = \frac{\text{дни на работа в годината}}{365}$$

Честота на включване на механизма в часове може да бъде представена с израза:

$$(4) \quad m = \frac{3600}{T_c \cdot b}$$

където:

$T_c$  - времетраене на един цикъл, s

$b$  - число, което зависи от вида и работата на механизма.

Коефициентът за годишни амортизационни изчисления за един товароподемен кран може да се определи от:

$$(5) \quad a_m = \frac{1 + \frac{a_p}{100}}{N_p^k}$$

където:

$a_p$  - % на разходите за основен ремонт в средния експлоатационен срок до бракуване на товароподемния кран от общата стойност.

За тежък режим  $a_m^*$  се определя:

$$(6) \quad a_m^* = k(m, n) \cdot a_m^k$$

При моделиране входящите потоци от заявки и потока на пълните откази на обслужващите устройства са приети Поасонови, с параметри  $a$  и  $l$ , с времена за обслужване на заявките и за отстраняване на отказите, които се изменят по експоненциален закон с  $m$  и  $b$ .

Средната интензивност на пълните откази на товароподемния кран е функция на конструктивния и действителния експлоатационен режим на работа и може да се определи по формулата:

$$(7) \quad a_T = a_k \cdot k_{OT}(m, n)$$

където:

$a_k$  - средна интензивност на пълните откази на товароподемния кран при работа в конструктивен режим.

$k_{OT}(m, n)$  - коефициент отчитащ изменението на средната интензивност на пълните откази на товароподемния кран, когато се експлоатира в режим  $m$  при конструктивен режим  $n$ .

Максимална възможност среднодневна експлоатационна производителност - което може да се реализира при дадени експлоатационни условия от товароподемния кран, като се отчитат всички регламентирани престои без да се нарушават граничните условия за безопасна работа по конструктивен режим.

$$(8) \quad T_{уб, год} = \frac{100 T_p(m, k_T) \cdot j}{n \cdot b_j} \cdot 24 \quad /$$

където:

$j$  е показател, който показва за кой подемен механизъм се изчислява

$T_p(m, k_T)$  - максимален годишен ресурс от работни часове, с които разполага през годината  $j$ -тия подемен механизъм за товароподемния кран с  $t$ -ти конструктивен режим на работа и работещ с коефициент натоварване на подеменния механизъм  $K_T$ .

Денонощният наличен фонд от време може да се определи от:

$$(9) \quad T_{crane} = z \cdot k_{time}(z)$$

където:

$z$  - продължителността на работа на товароподемния кран през денонощието.

$k_{time}$  - коефициент за използване на товароподемния кран по време определен от регламентирани престои.

Действителен фонд от време, с който разполага подеменния механизъм на товароподемния кран  $T_{workj}^d$  за работа през денонощието може да се определи от:

$$(10) \quad T_{workj}^d = T_{crane} \text{ при } \frac{T_{workj}}{365} \text{ и } T_{crane} \cdot ден /$$

$$T_{workj}^d = \frac{T_{workj}}{365} \text{ при } \frac{T_{workj}}{365} \text{ и } T_{crane} \cdot ден /$$

Като се отчитат всички написани по-горе условия се определя експлоатационната производителност, която може да се постигне от товароподемния кран при работа на подеменния механизъм:

$$(11) \quad P_{ej}^d = \frac{3600 \cdot T_{workj}^d}{T_{c.srj}} \cdot G_{kj} \cdot k_{Tj} \cdot k_{ed,j}, \quad /$$

където:

$T_{c.srj}$  - средна продължителност на един цикъл

$G_{kj}$  - масата на номиналния товар на подеменния механизъм.

$k_{Tj}$  - коефициент за използване на товароподемността.

$k_{ed,j}$  - коефициент за едновременно извършване на операциите по натоварване и разтоварване.

Средното време за отказ на товароподемния кран, до настъпването на повреда може да бъде определено от [2]:

$$T_{cp.повреда} = \frac{\sum t_i}{a}$$

където:

$\sum t_i$  - общото време на работа на товароподемния кран, преди първата повреда

$a$  - броя на повредите на товароподемния кран

Средното време между две повреди на товароподемния кран може да бъде определено според зависимостта:

$$T_{cp.между две повреди} = \frac{\sum t_{изпол.}}{M}$$

където:

$\sum t_{изпол.}$  - общото време на използване на товароподемния кран.

$M$  - броя на повредите на товароподемния кран

### 3. Заключение

Анализът на изследванията показва, че неправилно подбраната конструктивна надеждност на използваните товароподемни кранове рязко влошава икономическите и експлоатационни им показатели. Най-целесъобразно е даден товаро-разтоварен фронт /ТРФ/ да се съоръжи с товароподемен кран с минимална допустимост на товароподемността и конструктивен режим, равен на експлоатационния.

### 4. Литература

- [1] Коларов И., Проданов М., Караиванов П., Проектиране на товароподемни машини, Техника, С., 1986
- [2] Yamei H., Reliability Assessment of crane operations, NTNU, 2007
- [3] БДС ISO 4301-1, 2001 Кранове и подемен съоръжения. Класификация. Част 1: Общи положения
- [4] Подемкран АД - <http://podemcrane.com>