



## **ПОВИШАВАНЕ НА ТОВАРОПОДЕМНОСТТА НА МНОГОВАЛОВО ПОДЕМНО УСТРОЙСТВО ЗА СПУСКАНЕ НА КОРАБИ НА ВОДА**

**Людмил Д. Попов**  
[lucy6@abv.bg](mailto:lucy6@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
София 1574, ул. „Гео Милев” №158,  
БЪЛГАРИЯ*

*Ключови думи : автоматизирано електрозадвигване, подежник, изравняване на товарите.*

*Резюме: Обект на изследването е вертикално подемно устройство за спускане на кораби на вода, работещо в “Русенска корабостроителница” АД – Русе. Анализирани са характеристиките на натоварванията на 12<sup>-ме</sup> двигателя на устройството. Обоснована е целесъобразността от въвеждане на система за автоматично изравняване на товарите. Показани са възможностите за следващо от това изравняване повишаване на товароподемността, респективно производителността на съоръжението.*

### **1. Описание на многоваловото подемно устройство. Анализ на характера на натоварванията.**

В русенската корабостроителница задачата за построяване на по-големи кораби е решена успешно в края на 50-те години на миналия век след изграждането на корабоподемно съоръжение от вертикален тип, което да спуска корабите на вода. Същото е проектирано и произведено в заводи на бившата ГДР.

От предоставената документация и направения оглед стана ясно, че спускането става с галови вериги – 48 броя, задвижвани от 12 броя двудвигателни задвижвания по система за синхронно въртене (главни двигатели за постоянен ток тип GMB 11 с напрежение 440 V, ток 41A, мощност 15,6 kW, синхронизиращи асинхронни двигатели с фазов ротор тип ОДКп 7516 с напрежение 380 V, ток 29,7 A и мощност 14 kW. Синхронизацията става чрез свързване на роторните вериги на последните. Няма допълнителна автоматика, свързана с измерване на скорости, моменти и пр.

Всички конкретни данни са по документация на съоръжението [1].

По проект съоръжението е проектирано за товароподемност 1200 т. Теглото се уравнива от 12 броя противотежести  $G_t$  за всеки от 12<sup>-те</sup> двигателя, като е спазено условието за еднакви стойности на неуравновесеното тегло  $G_n$  при двата естествени режима на издигане и спускане:

1.1. Спускане на пълна платформа:

$$G_n = G_k + G_p - G_t = 1200 + 600 - G_t = 1800 - G_t$$

1.2. Издигане на празна платформа (сменя се знакът на  $G_n$ ) :

$$-G_n = G_p - G_t = 600 - G_t$$

От условието за постоянство на  $G_n$  следва уравнението:

$$(1) G_k + G_p - G_t = -(G_p - G_t), \text{от където следва:}$$

$$(2) G_t = 0,5 \cdot G_k + G_p = 0,5 \cdot 1200 + 600 = 1200 \text{ т., т.е. теглото на всяка от } 12^{\text{те}}$$

противотежести следва да е  $\frac{1200}{12} = 100$  тона.

Направен бе експеримент с потапяне и издигане на празната платформа на КПС. Извършен е запис на токовете на  $12^{\text{те}}$  двигателя. Получават се следните резултати:

**А. Спускане на празна платформа.** Задвижването работи в двигателен режим - издига неуравновесения товар от разликата между теглото на празната платформа и противотежестите:

$$(3) F = G_t - G_p = 1200 - 600 = 600 \text{ тона.}$$

Това е по-тежкият режим за двигателите, доколкото те трябва да покрият собствените си загуби и тези в предавката. Резултатите са дадени в таблица 1.

Таблица 1

| Двиг. No | Ток А | $R_L$ , Т | Коеф. на претов. | Двиг. No | Ток А | $R_R$ , Т | Коеф. на претов. |
|----------|-------|-----------|------------------|----------|-------|-----------|------------------|
| 1L       | 15    | 32        | 0,73             | 1R       | 10    | 21,2      | 0,49             |
| 2L       | 27    | 57        | 1,31             | 2R       | 20    | 42,5      | 0,57             |
| 3L       | 25    | 53        | 1,21             | 3R       | 33    | 70,2      | 1,6              |
| 4L       | 31    | 66        | 1,5              | 4R       | 22    | 46,8      | 1,06             |
| 5L       | 30    | 64        | 1,45             | 5R       | 14    | 29,8      | 0,68             |
| 6L       | 12    | 25        | 0,58             | 6R       | 8     | 17        | 0,38             |

**Б. Издигане на празна платформа.** В този случай двигателите противодействат в спирачен (генераторен) режим на спускащите се противотежести и са по-облекчени, доколкото загубите им “помагат” със задържащото си действие. Резултатите аналогично са дадени в таблица 2.

$$(4) I_{\text{ср}} = \frac{\sum I_i}{12} = 6,7 \text{ А}; K_{\text{ср}} = \frac{F}{\sum I_i} = 3,406 \frac{\text{т}}{\text{А}}.$$

Таблица 2

| Двиг. No | Ток А | $R_L$ , Т | Коеф. на претов. | Двиг. No | Ток А | $R_R$ , Т | Коеф. на претов. |
|----------|-------|-----------|------------------|----------|-------|-----------|------------------|
| 1L       | 5     | 17        | 0,75             | 1R       | 5     | 17        | 0,75             |
| 2L       | 8     | 27        | 1,2              | 2R       | 4,5   | 15,3      | 0,675            |
| 3L       | 10    | 34        | 1,5              | 3R       | 11    | 37,5      | 1,65             |
| 4L       | 9     | 30,6      | 1,35             | 4R       | 7,5   | 25,5      | 1,125            |
| 5L       | 6     | 20,4      | 0,9              | 5R       | 6     | 20,4      | 0,9              |
| 6L       | 4     | 13,6      | 0,6              | 6R       | 4     | 13,6      | 0,6              |

От анализа на таблиците става ясно, че независимо от много по-голямата равномерност на разпределение на товарите (платформата е празна, противотежестите са еднакви), съществува съществена неравномерност в натоварването. Обяснението е преди всичко в неидеалната коравина на платформата, още повече, че тя е секционирана през средата си на две половини със ставни връзки.

Най - натоварен и при двата режима е двигател 3R, чиито ток надвишава средния с 60 - 65 %. Очевидно именно зоната на неговите подтрегерни греди, където са захванати 5<sup>-ти</sup> и 6<sup>-ти</sup> трегери на платформата (веднага след 6<sup>-ти</sup> трегер, между 6<sup>-ти</sup> и 7<sup>-ми</sup>, е

секциониращата става на двете половинки на платформата!), провисва най-много и съответно там са най-опънатите галови вериги.

Значителната разлика в средните токове при двата режима следва да се търси във факта, че при спускането на празната платформа двигателите работят в двигателен режим, а при издигане - в спиращен. Разликата идва от промяната на мястото на к.п.д.  $\eta$  в уравненията на механичната и електрическа мощност : от числителя - в знаменателя.

Всъщност отношението на двата средни тока е равно на  $\eta^2$ . Оттук лесно може да се определи к.п.д.:  $\eta^2 = \frac{6,7}{20,58} = 0,325$ ;  $\eta = 0,57$ . Тази осреднена стойност е доста по-ниска от номиналната (0,79). Това се дължи на нарастването на  $\eta$  с доближаването до номиналния товар. Естествено, при по-малките натоварвания к.п.д. ще е доста по-нисък.

## 2. Товароносимост на КПС.

Тук се коментират възможностите за безпроблемно спускане на по-тежки от проектните (1200 тона) кораби : 1500 - 1800 тона.

Пределната мощност на двигателите при спускане на кораб (те ще работят в генераторен режим, ако корабът е по-тежък от 600 тона ) може да се изрази като :

$$(5) P_{max} = U_H \cdot I_H = \frac{440 \cdot 41}{1000} = 18,04 \text{ kW}$$

Ако се въведе коефициент на неравномерност  $K_H$  , отчитащ неравномерното разпределение на товара на отделните двигатели, изискването да няма претоварване в никой от двигателите се свежда до условието токът на най-натоварения двигател да не надхвърля номиналната стойност 41 А:

$$(6) I_{max} = I_H = 41 = K_H \cdot I_{cp}$$

където  $I_{cp}$  е средният ток при напълно изравнено натоварване. Същият може да бъде определен, като неуравновесеният товар се раздели на броя на двигателите. Тогава от баланса на мощностите следва :

$$(7) \frac{G_H \cdot V \cdot \eta}{12} = U_H \cdot I_{cp}$$

откъдето средният ток може да бъде определен за всяко тегло на кораб, като се изрази стойността на неуравновесения товар ( теглото на кораба плюс платформата минус теглото на противотежестите ) :

$$(8) G_H = G_K + G_P - G_T = G_K - 600$$

От (7) и (8) следва :

$$(9) \frac{(G_K - 600) \cdot V \cdot \eta}{12} = U_H \cdot I_{cp}$$

откъдето еднозначно се определя като функция на теглото на кораба средният ток  $I_{cp}$  и допустимият коефициент на неравномерност за най-натоварения двигател:

$$(10) K_H = \frac{I_H}{I_{cp}} = \frac{41}{I_{cp}}$$

От баланса на мощностите се получава специфичен среден ток за един тон неуравновесен товар както следва:

-  $0,0245 \frac{\text{A}}{\text{T}}$  при спускане на кораб (спиращен режим);

-  $0,0392 \frac{\text{A}}{\text{T}}$  при издигане на кораб (двигателен режим).

Ако се раздели номиналният ток на двигателя на тези коефициенти, след добавяне и на разликата между теглата на противотежестите и на платформата (600 тона), ще се получат теоретичните пределни тегла на кораба при спускане и издигане.

При напълно изравнени товари за  $I_{cp} = I_H = 41 \text{ A}$  от уравнение (9) се получава:

$G_{max \text{ сп.}} = 2153,47 \text{ тона}$  ( спускане);

$G_{max \text{ изд.}} = 1525,93 \text{ тона}$  ( издигане).

При съществуващите реални условия (коравина на платформата, разпределение на товара и пр.), трудно може да се очаква коефициент на неравномерност по-малък от 1,6 - 2, на който съответства съответно намален среден ток. Ако приемем средно коефициент 1.8, следва:

$$G_{\max \text{ сп.}} = 1463,04 \text{ тона ( спускане);}$$

$$G_{\max \text{ изд.}} = 1114,41 \text{ тона ( издигане).}$$

Ако приемем, че е внедрена система за изравняване на товарите (вж. по-долу), осигуряваща коефициент на неравномерност не по-голям от 1,2 се получава:

$$G_{\max \text{ сп.}} = 1894,56 \text{ тона ( спускане);}$$

$$G_{\max \text{ изд.}} = 1371,61 \text{ тона ( издигане).}$$

По изложената по-горе методика за различни тегла на кораба се получават следните данни за допустимия коефициент на неравномерност - таблица 3.

Таблица 3

| Тегло на кораба, Т | Среден ток, А | Допустим коефициент на неравномерност $K_H$ |
|--------------------|---------------|---|
| 1200               | 16,87         | 2,43  |
| 1300               | 19,71         | 2,08  |
| 1400               | 22,53         | 1,82  |
| 1500               | 25,47         | 1,61  |
| 1600               | 28,28         | 1,45  |
| 1700               | 31,06         | 1,32  |
| 1800               | 33,88         | 1,21  |
| 1900               | 36,61         | 1,12  |
| 2000               | 39,42         | 1,04  |

Прави впечатление нелинейността на изменение на  $K_H$ , докато  $I_{\text{ср}}$  се изменя по почти линеен закон с нарастването на теглото на кораба. Независимо от това, за междинни стойности на теглото и двата параметъра могат да се получават чрез линейна интерполация.

Следователно, колкото по-голямо е теглото на спускания кораб, толкова по-равномерно то трябва да бъде разпределено върху 12<sup>-те</sup> греди на платформата. Осигуряването на това изискване налага засега по-тежките кораби да бъдат спуснати по възможност “празни”, т.е. без концентрирани тежести (двигатели, дизелгенератори и пр. тежки агрегати), като същите бъдат качвани на кораба след като той е вече на вода. Това съществено удължава времето за завършване на кораба.

Очевидни са преимуществата на изравняването на товарите на подемните двигатели.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1.] Документация на вертикално корабоподемно устройство – архив на “Русенска корабостроителница” АД – Русе