

SAT-2.203-1-TMS-06

Относно някои кинематични параметри при динамично изследване  
на междустълбие от кабинкова въжена линия  
по метод на крайните елементи  
Research on some kinematic parameters of a dynamic analysis of a  
cable span of an aerial lift by the finite elements method

Силвия Дечкова  
Silvia Dechkova

**Research on some kinematic parameters of a dynamic analysis of a cable span of an aerial lift by the finite elements method:** This paper presents a model of an aerial lift with two cables and fixed suspended cars. The aerial lift consists of a hauling rope, a supporting rope, two supporting towers and three cars. The cars are fixed suspended on the hauling rope and travel upwards in a vertical direction against their horizontal axis. They move with constant speed by a trajectory matching the elastic curve under dead load of the hauling rope. The goal of this paper is to analyse the oscillations induced in a cable span of double rope aerial lift with circulating cars as well as to determine the various coefficients of resistance and speed of the motion of the cars. The computer simulation and the calculations are performed with software product SolidWorks and the programme package SolidWorks Motion.

**Keywords:** Aerial car lift with two cables, sideways oscillations, computer simulation, FEM, SolidWorks Motion

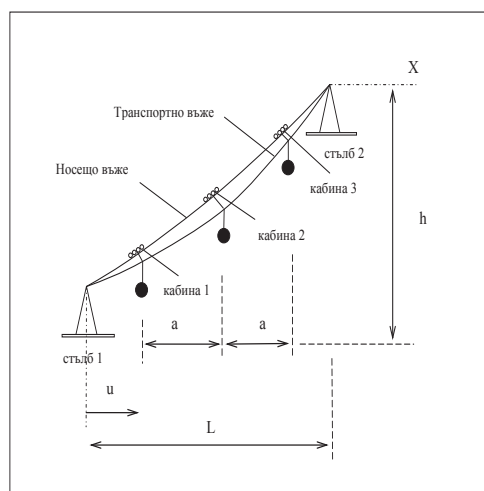
## 1. Въведение

Поради голямото разнообразие на въжени линии се налага да бъдат направени динамични изследвания относно различни фактори влияещи на безопасността [1, 2, 3].

Целта на настоящата работа е да се направи анализ на трептенията, които възникват в едно междустълбие от двувъжена кабинкова линия с обиколно движение и определяне различните коефициенти на съпротивление и скорост на движение на кабинките.

## 2. Описание на механичната система

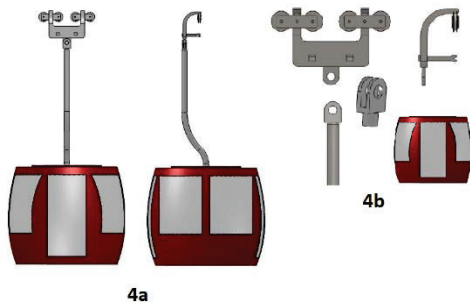
Създаден е модел на едно междустълбие на кабинкова въжена линия с едно транспортно и едно носещо въже (фиг.2). Кабинките са фиксирани към транспортното въже и се изкачват вертикално нагоре спрямо хоризонталната ос. Те се движат по въжената линия с постоянна скорост и по траектория, която съвпада с еластичната линия от собствено тегло на транспортното въже.



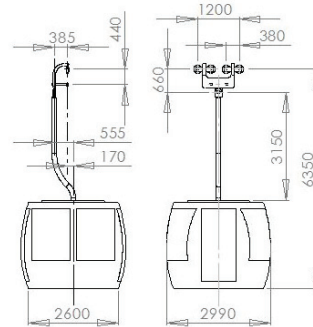
Фиг. 2. Схема на междустълбие от двувъжена линия с три кабинки

### Модел на изследваната кабинка

Моделът на кабинката (фиг. 4а) е асемблиран (сглобен) от отделни детайли: носач, колесарка, хващач, тръба, кабинка и ухо. (фиг.4б).



Фиг.4а. Пространствен модел на кабинката

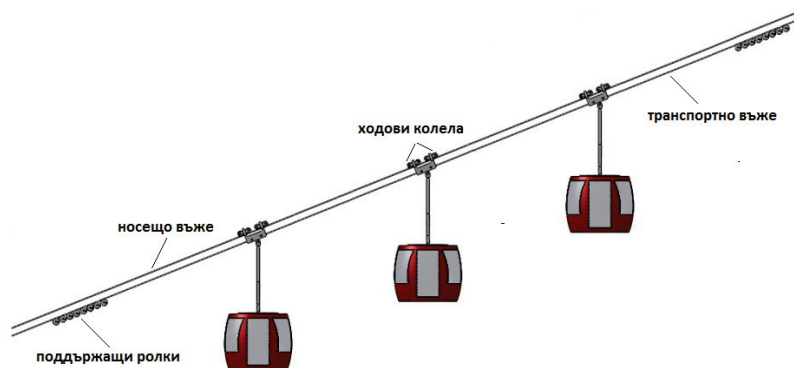


Фиг. 5. Чертеж на кабинка

Колесният механизъм се състои от четири ходови колела, с диаметър 250 mm. Хващачите са пружинни и не чувствителни към изменение на диаметъра на въжето и силата на натиск.

### Метод на крайните елементи

Създаденият със софтуер SolidWorks пространствен модел е трансформиран в крайно елементен с пакета SolidMotion.



Фиг.3. Тримерен модел на едно междустълбие от двувъжена линия

### Задаване на контактни условия между телата в механичната система.

За да се симулира движението се задават следните контактни условия:

- между ходовите колела на колесния механизъм и носещото въже;
- между поддържащите ролки и транспортното въже;
- между хващач и транспортното въже.

Прието е скоростта на ролката и скоростта на въжето в точката на контакт да са равни. В случай на приплъзване между ролката и въжето коефициента на триене се автоматично се определя от симулационния модел.

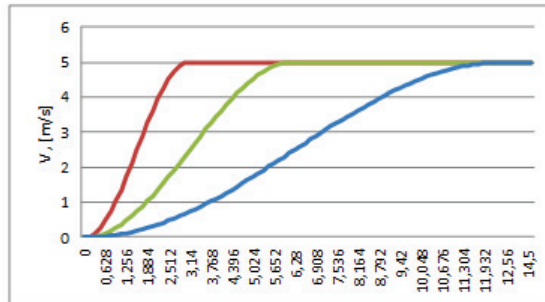
За целта е необходимо да се зададат контактните повърхнини и материали на ролката и въжето.

### Натоварване и задвижване на механичната система.

Натоварването е реализирано, чрез гравитационни сили – тип «Gravity» (сили от собствено тегло).

Кинематичните характеристики на движението са скорост на движение на въжената линия и контактни условия между отделните тела в механичната система. Задвижването се осъществява, чрез линеен мотор, поставен в горния край на транспортното въже. Разглежда се работата на въжената линия в установен режим. Скоростта на движение е  $5 \text{ m/s}$ .

За да се симулира процесът се прави промяна на двигателната характеристика. Задават се три различни режима на движение на линейния мотор, които функции на скоростта спрямо времето са показани на фиг. 6.



Фиг. 6. Изменение на скоростта на масовия център във времето

Законът за движение при трептене на механичната система се задава с израза

$$(1) \quad x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

където  $x$  е величината, която се променя периодично;  $A$  – амплитуда и представлява максималната абсолютна стойност на отклонението от положението на равновесие;  $\varphi_0$  – начална фаза;  $\omega_0$  – собствена кръгова честота.

Чрез диференциране на закона на движение се получава скоростта и ускорението.

#### Задаване на коефициент на затихване (демпфер)

Диференциалното уравнение на затихването има вида:

$$(4) \quad \frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

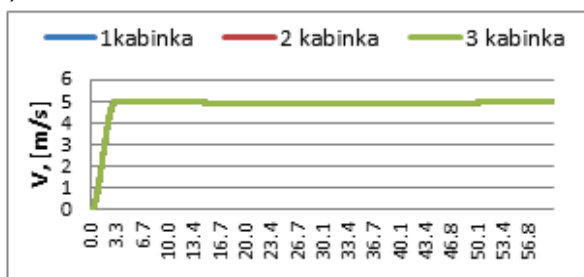
където  $\beta$  е коефициент на затихване, а  $\omega_0$  е собствена кръгова честота.

#### Числени експерименти и резултати ([7]).

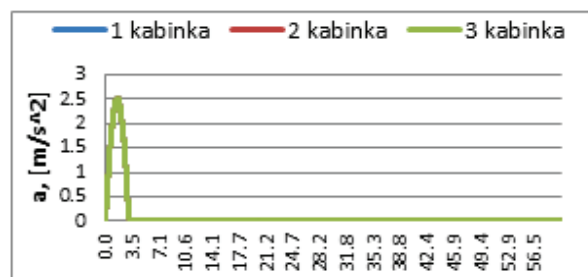
За числената симулация са използвани следните параметри:  $L = 800 \text{ m}$  – хоризонтално разстояние между стълбовете;  $h = 300 \text{ m}$  – вертикално разстояние между стълбовете;  $a = 270 \text{ m}$  – хоризонтално разстояние между две съседни кабинки;  $m = 650 \text{ kg}$  – маса на празната кабина,  $e_K = -0.17 \text{ m}$  – хоризонтална координата на масовия център на кабината. Диаметър на транспортното въже е  $d_T = 0,035 \text{ m}$ , а диаметърът на носещото въже  $d_H = 0,040 \text{ m}$ .

Числени резултати:

Изменението на скоростта и ускорението на три кабинки е показано на фиг. (7) и (8).

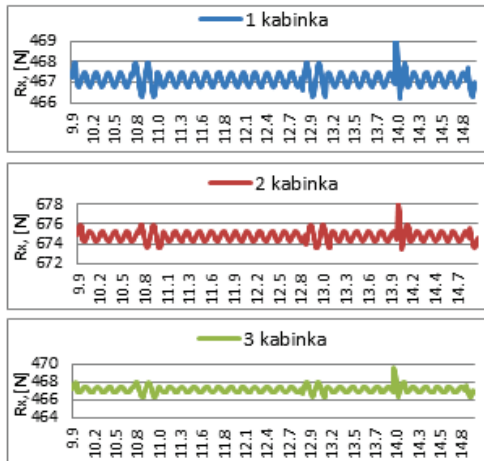


Фиг.7 Скорост на мотора

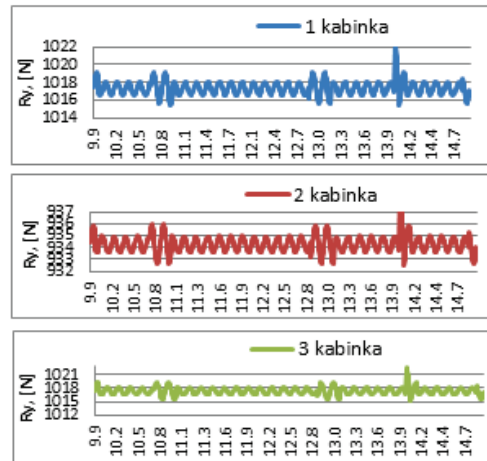


Фиг.8 Ускорение на кабинки

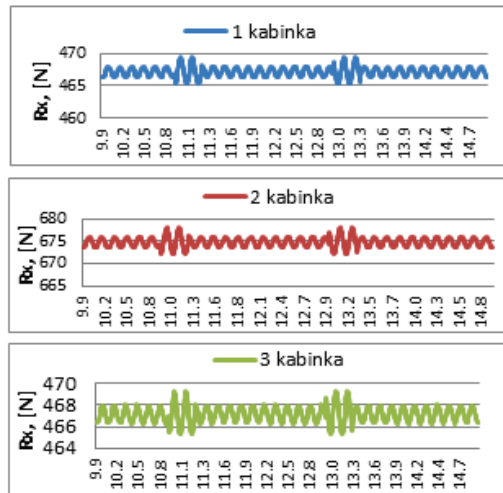
Съгласно графиките за изменение на скоростта (фиг.6) се получава изменението на хоризонталната сила  $R_x$  и вертикалната сила  $R_y$ , приложени в зоната между носещото въже и ходовото колело на колесарния механизъм.



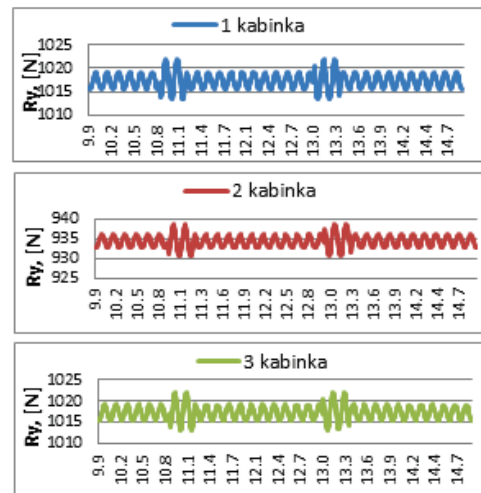
Фиг.9. Изменение на хоризонталната сила  $R_x$  в зоната на контакт въже-ролка при трите кабинки



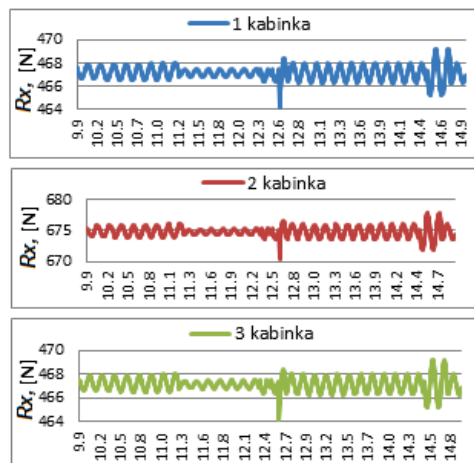
Фиг.10. Изменение на вертикалната сила  $R_y$  в зоната на контакт въже-ролка при трите кабинки



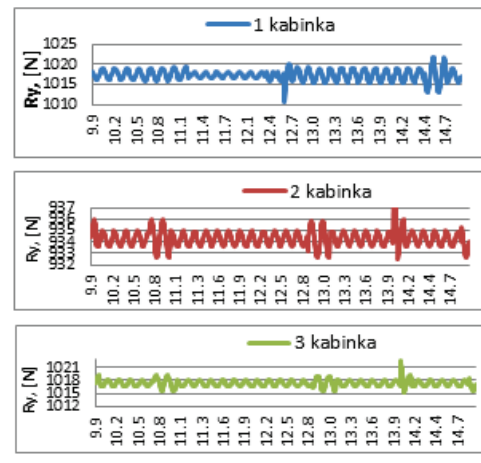
Фиг.11. Изменение на хоризонталната сила  $R_x$  в зоната на контакт въже-ролка при трите кабинки



Фиг.12. Изменение на вертикалната сила  $R_y$  в зоната на контакт въже-ролка при трите кабинки

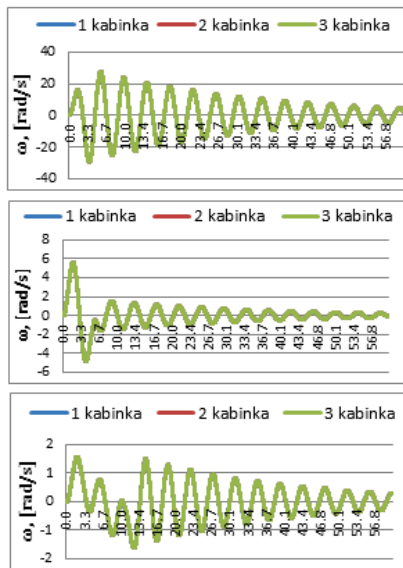


Фиг.13. Изменение на хоризонталната сила  $R_x$  в зоната на контакт въже-ролка при трите кабинки

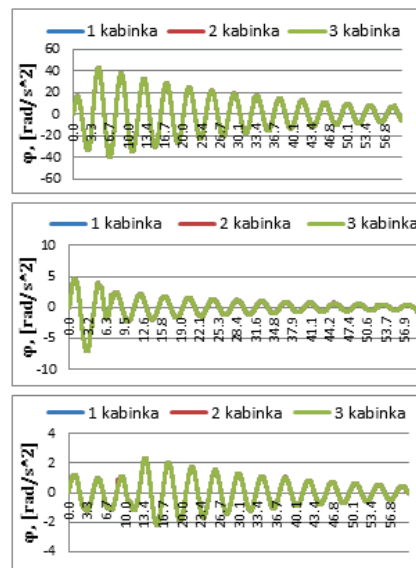


Фиг.14. Изменение на вертикалната сила  $R_y$  в зоната на контакт въже-ролка при трите кабинки

Изменението на ъгловата скорост и ускорение има вида



Фиг.15. Изменение на ъгловата скорост  $\omega$  в зоната на контакт въже-ролка при трите кабинки



Фиг.16. Изменение на ъгловото ускорение  $\dot{\omega}$  в зоната на контакт въже-ролка при трите кабинки

#### 4. Заключение

Създаденият модел позволява да се решават числено динамични задачи за еластични системи, чиито части извършват взаимни движения.

Предложеният динамичен модел позволява да се симулира работата на кабинкова въжена линия с две въжета, при определяне на различните коефициенти на съпротивление и скорост на движение на кабинката.

Получените резултати са сравнени с експериментални данни за подобна въжена линия ([4, 5, 6]), от където се наблюдават сходни динамични процеси.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Czitary E., "Seilschwebbahnen", Wien, Springer-Verlag, 1962
2. Петрова Р., "Относно видовете въжени пътища и някои проблеми при тяхното изчисляване", "Механика на машините", N49, година XI, книга 5, 2003, ISSN 0861-9727
3. Дивизиев Вл., Въжени линии и кабелни кранове, ДИ „Техника“, София, 1975
4. Hoffmann Kl., R. Liehl, Gr. Maurer, "Measuring system for the characterization of the interaction between crosswind and gondola inclination of ropeways", XVII IMEKO. World Congress, Croatia 2003
5. Hoffmann Kl., Robert Liehl, "Measurement of Cross-Oscillation Effects at a Detachable Bicable Ropeway", 2003
6. Hoffmann K., Liehl R.: "Measuring System for Characterisation of the Interaction between Crosswind and Gondola Inclination of Ropeways", XVII IMEKO World Congress, Croatia 2003
7. SolidWorks Motion

#### За контакти:

гл. ас. д-р инж. Силвия Владимирова Дечкова, Технически университет – София, Инженерно-педагогически факултет – Сливен, тел.: 0893691565, e-mail: [si\\_yana@abv.bg](mailto:si_yana@abv.bg).