

## **ИЗСЛЕДВАНЕ ПРОЦЕСА НА УСКОРЕНИЕ НА КАБИНАТА ЗА ТРИ ГРУПИ АСАНСЬОРИ ПРИ УСКОРЯВАНЕ НА ДВИГАТЕЛЯ**

**Николай Христов**

[n\\_d\\_hristov@vtu.bg](mailto:n_d_hristov@vtu.bg)

**ВТУ „Тодор Каблешков“, София  
БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** Асансьори, ускорение, вибрации, комфорт на пътуването, алгоритъм на Рунге-Кута, многофакторен анализ.

**Резюме:** С настоящата статия е направена подготовка за многокритериално изследване, като е събрана информация за серия от пътнически, товарни и болнични лебедки при ускоряване на двигателя по естествени механични характеристики. Поместена е методика с алгоритъм на Рунге-Кута въз основа на която ще бъде решавана системата от диференциални уравнения, описващи движението на асансьорите в процеса на ускоряване. След определянето от проектните параметри за разглежданите лебедки се определя изменението на скоростта преместването на кабината в процеса на ускоряване, както изменението на времето за ускорение и момента на двигателя. Крайната цел на изследването е натрупване на опит и достатъчна база от данни, от която да изведе регресионни модели с възможност за прилагане на авторски подход DEFMOT в областта на механиката.

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Асансьорите играят решаваща роля в съвременната градска инфраструктура, осигурявайки ефективен вертикален транспорт в сградите. Процесът на ускорение по време на работа на асансьора значително влияе върху комфорта на пътниците, консумацията на енергия и цялостната производителност на системата. Разбирането на динамиката на ускорението в кабината е от съществено значение за производителите на асансьори, инженерите и изследователите [1, 2]

Актуалността на целта се обосновава от значението на проблемът в съвременния свят и от непрекъснатия интерес към проблема. Динамично моделиране и анализ на асансьорни системи е определено в [3], където са изследвани вибрациите и динамичното поведение на асансьора след обсъждане на техниката за моделиране на асансьори с различни съотношения на въжетата. В това изследване също е осъществен ANSYS анализ за определяне на ускорението на кабината на асансьора. Експериментално изследване на характеристиките на затихване на тягата на асансьора в [4] изследва амортизационните свойства в асансьорните системи при фокусиране върху подобряването на комфорта при возене чрез контролиране на вибрациите. Надежден контрол на напречните вибрации във високоскоростния асансьор са разгледани в [5]

стратегии за управление за смекчаване на напречните вибрации, при обсъждане на резултати от максимално ускорение.

Разбирането на ускорението на двигателя на асансьора включва мултидисциплинарен подход. Чрез интегриране на проектирането на двигателя, алгоритми за управление и механични характеристики, ние можем да подобрим производителността на асансьора, като същевременно гарантираме благополучието на пътниците.

Въпросът с ускоряването на асансьора, не може да се разглежда самостоятелно. Именно затова ускорението трябва да бъде балансирано и разгледано съвместно с предлаганите комфорт и безопасност. Авторите имат опит с многокритериалната оптимизация [6], но за да бъде приложена тя е необходимо да бъде събрана информация за различни видове лебедки.

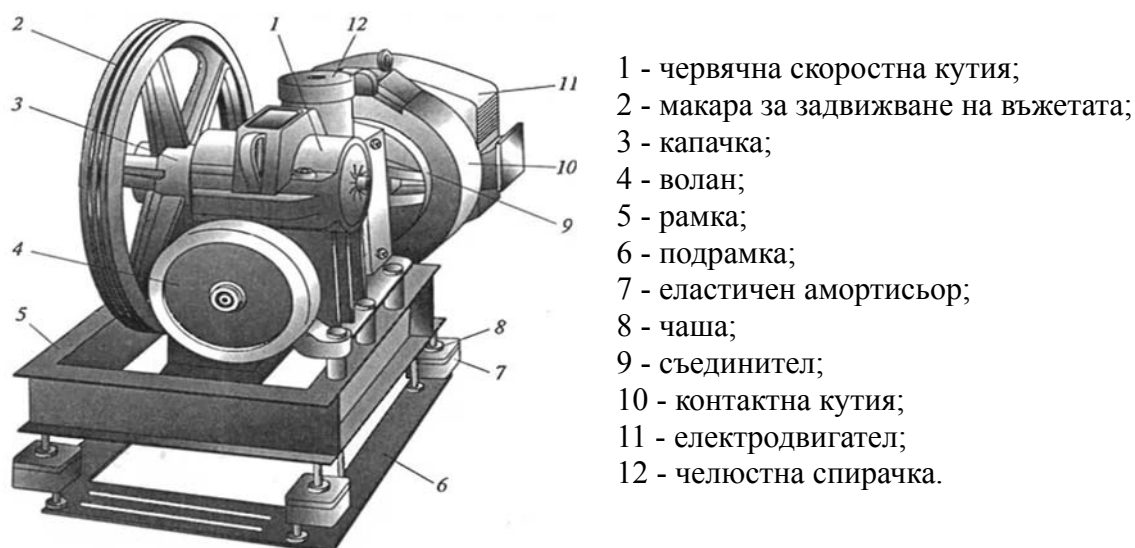
Целта на настоящото изследване е да се избере методика и посочи алгоритъм, чрез които за серия от пътнически, товарни и болнични лебедки да е възможно да се определи ускоряването на двигателя по естествени механични характеристики. В тази връзка се формулира многокритериален оптимизационен проблем на база скоростта, комфорта и безопасността. Това е необходимо да при обсъждането на компромиса между агресивното ускорение (за скорост) и постепенното ускорение (за комфорт и безопасност). Изпълняването на тази цел, ще доведе до набиране на достатъчна база от данни, от която е възможно да изведе регресионни модели с възможност да се разреши компромиса между скорост, комфорт и безопасност.

## 2. МЕТОДИКА И АЛГОРИТЪМ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Разбирането на взаимодействието между двигателя на асансьора и неговите естествени механични параметри е от съществено значение при оптимизацията на работата.

При изследването са използвани данни от украинската фирма «Системи якості, ЛТД», <https://air.com.ua/>

Данните на изследването са представени в Табл. 1 .



Фиг.1 Разположение на структурните елементи на лебедката на асансьора:

Табл.1. Експериментална база от данни по отношение на поставената цел  
Технически характеристики

Модел	Товароподемност, кг	Скорост, м/с	Диаметър на макарата, мм	Диаметър на въжетата, мм	На редуктора			На електродвигател ля		
					Междусе во растоя- ние, мм	Конзолно натоварван е, Н	Предавател но число	Честота на въртене об/мин	Мощност, кВт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Лебедки за пътнически асансьори										
1	ЛЛ-0463Б	400	0,63	480	10	125	30000	38	1000	3
2	ЛЛ-04063Б	400	0,63	600	10	125	30000	38	1500	3,5
3	ЛЛ-0471	400	0,71	525	10,5	160	30000	40	1000	3
4	ЛЛ-0406М	400	1,6	700	10	160	30000	30	1500	7,5
5	ЛЛ-053М	500	0,5	500	10	160	30000	52	1000	4,5
6	ЛЛ-0501	630	1,0	570	10	160	50000	30	1000	7
7	ЛЛ-Н0601Б	630	1,0	480	10	140	50000	25	1000	7
8	ЛЛ-0606М	630	1,6	550	10	180	50000	18	1000	13
9	ЛЛ-0620Б	630	2,0	600	10	180	50000	16,5	1000	13,5
10	ЛЛ-1010Б	1000	1,0	650	12	180	50000	33	1000	9
11	ЛЛ-3015Б	3200	0,5	700	12	180	50000	16,5	1000	17,5
Лебедки за товарни асансьори										
12	ЛЛ-237	500	0,18	250	7,8	160	30000	52	1000	5,5
13	ЛЛ-1005Б	1000	0,5	500	10	180	50000	25	1000	7
14	ЛЛ-289М	2000	0,5	700	12	180	50000	33	1000	9
15	ЛЛ-291М	3200	0,5	700	12	180	50000	33	1000	17,5
16	ЛЛ-5002Б	5000	0,25	700	12	180	50000	33	1000	17,5
17	ЛЛ-6302Б	6300	0,25	700	12	180	50000	33	1000	17,5
Лебедки за болнични асансьори										
18	ЛЛ-053М	500	0,5	500	10	160	30000	52	1000	4,5
19	ЛЛ-06001М	630	0,5	500	12	160	35000	52	1000	4,5
20	ЛЛ-0663Б	630	0,63	480	10	160	35000	40	1000	7

Основни конструктивни елементи на лебедката: глобоидна червячна скоростна кутия, едно- или двускоростен асансьорен двигател, или барабан, въжета, спирачна система. Като разновидност на задвижване са избрани лебедки със скоростни кутии със специални АС двигатели. Въртящият момент от електродвигателя се предава към червячния вал на скоростната кутия чрез съединител, част от който е направен под формата на спирачна шайба. Половината на съединителя и челюстната спирачка, монтирани на корпуса на скоростната кутия, действат като спирачна система. На втория край на високоскоростния вал на скоростната кутия е монтиран волан, който е предназначен за ръчно повдигане на кабината. Коляновият вал е монтиран на вала на скоростната кутия с ниска скорост и закрепен с гайка. За намаляване на вибрациите и шума между рамката и подрамката са монтирани амортизатори и чаши.

Оптимизационният подход трябва да включи следните особености:

1. Параметри на двигателя: Изследване как спецификациите на двигателя (напр. въртящ момент, инерция на намотаването) влияят върху профилите на ускорение.

2. Анализират на това как естествените честоти и формите на режима влияят върху реакцията на двигателя по време на ускорение.

3. Изследване на алгоритми за управление, които балансират скорост, комфорт и консумация на енергия.

За изясняването на проблема бяха анализирани някои съвременни изследвания [7,8]. Те бяха включени, поради желание в бъдеще да бъде постигнат оптимален профил, защото ускорение включва удовлетворяване на две противоречиви цели: по-бързо време за пътуване срещу по-плавно каране. По този компромис могат да се направят и следните констатации.

- Различните профили на ускорение (напр. линейни или други) оказват влияние върху комфорта на пътниците и консумацията на енергия.

- Ускорението на асансьора трябва да остане в границите на безопасност, за да се предотврати дискомфорт или инциденти.

- Пътниците възприемат резки промени в ускорението, засягащи комфорта.

Именно за това нашите бъдещи намерения са, балансирането на ускорението на асансьора за скорост, комфорт и безопасност изисква обмислен дизайн и оптимизация.

Специално динамиката на асансьора, профилите на ускорението, съображения за безопасност и стратегии за оптимизация свързаните с тях изследвания [9, 10].

Авторите представят динамичен модел за асансьорни системи, включително поведение при ускорение. За целта е методика с алгоритъм на Рунге-Кута въз основа на която ще бъде решавана на система от диференциални уравнения, описващи движението на асансьорите в процеса на ускоряване. Методите на Рунге-Кута са важна част от имплицитните и експлицитните итеративни методи за получаване на приближено решение на обикновени диференциални уравнения. Методът е стандартизиран и негово пълно описание е посочено в следващите два источника [11,12].

След определянето от проектните параметри за разглежданите лебедки се определя изменението на скоростта преместването на кабината в процеса на ускоряване, както изменението на времето за ускорение и момента на двигателя.

По отношение на вторият критерий стандартът ISO 8100-34:2021 обикновено се използва в асансьорната индустрия за оценка на комфорта при возене и оптимизиране на дизайна. За разлика от това, стандартът ISO 2631-4:2021, разглежда оценката на въздействието на механични вибрации върху комфорта на пътници в системи с фиксирани пътища. Този стандарт предоставя насоки при оценката на ефектите от вибрациите и въртящите движения върху комфорта. Широко използван в системите за железопътен транспорт, този стандарт предоставя обща оценка на комфорта, но не е приложен към асансьори. В бъдещо наше изследване ние трябва преодолеем разликата между тези два стандарта. За тази цел отново е необходимо:

- Да се съберат значително количество измерени данни за нормални и необичайни вибрации на кабината на асансьора.

- Да се анализират разликите в методите за оценка на комфорта при пътуване между ISO 8100-34:2021 и ISO 2631-4:2001.

- Косвено да се оцени комфорта на возене в асансьора както при нормални, така и при необичайни условия на вибрации.

Констатации и общата представа от включената в това изследване на посочената литература показва, че оценката на комфорта чрез ISO 2631-4:2001 и ISO 8100-34:2021 бяха последователни при две условия на вибрация. [15, 16]:

1. Вертикални вибрации на кабината, свързани с ускорението и забавянето на асансьора по вертикалната ос

2. вибрации в странична и (хоризонтална) посока, причинени от различни фактори, включително неравномерност на релсите, неравномерност на тегленето или други механични фактори.

На база извършените проучвания се установи, че ISO 2631-4:2001 предоставя точно количествено описание на комфорта и това е така, защото той определя комфортните интервали за различни нива на вибрации. Проучването потвърди, че ненормалните вибрации по време на етапите на асансьора (старт-стоп, равномерна скорост, ускорение и забавяне) влияят на комфорта при пътуване [17].

### **3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

От анализа на литературата беше потвърдено, че наблюдаваните разлики в профилите на ускорение могат да бъдат приписани на конструктивни фактори, като мощност на двигателя, алгоритми за управление и тегло на кабината. Съображенията за безопасност, включително аварийното спиране, също играят роля. Оптимизирането на ускорението на асансьора изисква да бъде решена многокритериална задача за изясняване на компромиса между скорост, комфорт и безопасност. Необходими са по-нататъшни изследвания, за да се усъвършенстват профилите на ускорението и да се подобри престоя на пътниците. Експертите могат да ползват тези резултати, когато проектират и поддържат асансьорни системи.

### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Певной П. “Современное здание. Инженерные системы”. – 82 с. 2006.
- [2] Бородач М.М. (ред.) “Инженерное оборудование высотных зданий”. М.: АВОК-Пресс, 2011. - 458 с. — ISBN: 978-5-98267-068-7
- [3] Onur Berber. “Dynamic modelling and analysis of elevator systems”. İzmir, 2016. <https://gcris.iyte.edu.tr/bitstream/11147/5733/1/T001568.pdf>.
- [4] Peng Xu, Qifeng Peng, Fusong Jin, Fei Xia, Jianghong Xue, Hong Yuan, Shanqing Li. “Experimental study on damping characteristics of elevator traction”. *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 14(3) 1–12, 2022. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/16878132221085434>.
- [5] Shunxin Cao, Qin He, Ruijun Zhang, “Robust Control of High-Speed Elevator Transverse Vibration Based on LMI Optimization”. *Materials Science and Engineering* 538 (2019). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/538/1/012032/pdf>.
- [6] Tontchev, N., Gaydarov, V., Hristov, N., "Analyses and applications using the computational approach “DEFMOT”, Sofia, 2022, 167 p. (in Bulgarian)
- [7] Danlong Song, Peng Zhang, Yuanhao Wang, Chunhua Du, Xiaomin Lu, Kai Liu, “Horizontal dynamic modeling and vibration characteristic analysis for nonlinear coupling systems of high-speed elevators and guide rails”. *Journal of Mechanical Science and Technology*, Volume 37, pages 643–653, 2023
- [8] Zhongxu Tian, Hang He, You Zhou, „Modeling and Numerical Computation of the Longitudinal Non-Linear Dynamics of High-Speed Elevators“. *Applied Sciences* 2024, 14, 1821. <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/5/1821>.
- [9] Smith, J. R. “Elevator Dynamics: A Comprehensive Review.” *Journal of Vertical Transportation Technology*, 35(2), 87-105. 2008
- [10] Chen, L., & Wang, Q. “Dynamic Modeling and Simulation of Elevator Systems.” *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering*, 42-49. 2015
- [11] [https://www.fmi-plovdiv.org/evlm/DBbg/database/studentbook/ES2\\_bg.pdf](https://www.fmi-plovdiv.org/evlm/DBbg/database/studentbook/ES2_bg.pdf)

[12]

[https://www.wikiwand.com/bg/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8\\_%D0%BD%D0%B0\\_%D0%A0%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%B5-%D0%9A%D1%83%D1%82%D0%B0](https://www.wikiwand.com/bg/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8_%D0%BD%D0%B0_%D0%A0%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%B5-%D0%9A%D1%83%D1%82%D0%B0)

[13] ISO 2631-4:2001 Mechanical vibration and shock -Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems.

[14] ISO 8100-34:2021 Lifts for the transport of persons and goods - Part 34: Measurement of lift ride quality.

[15] “Noise And Ride Comfort Performance”  
[https://www.tkelevator.com/media/uk/high\\_rise/momentum-noise-ride-comfort-elevator-factsheet-buea-en.pdf](https://www.tkelevator.com/media/uk/high_rise/momentum-noise-ride-comfort-elevator-factsheet-buea-en.pdf)

[16] Johann Tang, “Reactive vs Preventative vs Predictive Maintenance: What are the Differences?” Engineering Notes, 2019 <https://blog.orientalmotor.com/reactive-vs-preventive-vs-predictive-maintenance>

[17] Li, C., Lu, J., Lai, J., Yao, J., & Xiao, G. “Assessment of ride comfort of traction elevators using ISO 18738-1:2012 and ISO 2631-4:2001 standards.” Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment, 3 (2) 2022

## **INVESTIGATION OF THE CABIN ACCELERATION PROCESS FOR THREE GROUPS OF ELEVATORS UNDER ENGINE ACCELERATION**

**Nikolay Hristov**  
[n\\_d\\_hristov@vtu.bg](mailto:n_d_hristov@vtu.bg)

***Todor Kableshkov University of Transport,  
158 Geo Milev Str., 1574 Sofia  
BULGARIA***

**Key words:** *Elevators, acceleration, vibration, ride comfort, Runge-Kutta algorithm, multifactorial analysis*

**Abstract:** *With this article, preparations have been made for a multi-criteria study, by collecting information on a series of passenger, cargo and hospital winches under natural mechanical characteristics of the engine acceleration. A methodology with a Runge-Kutta algorithm has been introduced, based on which the system of differential equations describing the movement of the elevators in the acceleration process will be solved. After the determination of the design parameters for the considered winches, the change in speed, the displacement of the cabin in the process of acceleration, as well as the change in the acceleration time and the engine torque are determined. The ultimate goal of the study is to accumulate experience and a sufficient database from which to derive regression models with the possibility of applying the author's DEFMOT approach in the field of mechanics.*