

^{1*}Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРОЕКТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕВАТОРУ НА ПАРАМЕТРИ ЙОГО ПРИВОДУ

Мета. Привід відноситься до основних елементів стрічкових ковшових елеваторів. Для визначення потужності приводу проводяться розрахунки за стандартними методиками, для чого потрібно витратити достатньо часу. В роботі необхідно провести аналіз впливу проектних характеристик на параметри приводу швидкохідних ковшових стрічкових елеваторів та побудувати удосконалений алгоритм прискореного визначення потужності його приводу за проектними характеристиками. Цей алгоритм враховуватиме тип вантажу, висоту підйому, необхідну продуктивність, стандартні параметри ковшів та стрічки. **Методика.** Використовуючи параметричні залежності потужності приводу елеваторів від його проектних характеристик (отриманих автором раніше), запропоновано удосконалений алгоритм прискореного визначення потужності приводу швидкохідних елеваторів із глибокими та мілкими ковшами при заданих типах вантажу, продуктивності, висоті підйому. **Результати.** Запропоновано алгоритм прискореного визначення потужності приводу швидкохідних вертикальних елеваторів із глибокими та мілкими ковшами в залежності від проектних параметрів. Розглянуто приклад застосування такого алгоритму для елеватору, призначеного для транспортування цементу. Визначено аналітичні залежності потужності приводу такого елеватору від продуктивності та висоти підйому. Побудовано відповідні графічні залежності та встановлено характер зміни потужності приводу при зміні величини кожної із проектних характеристик. **Наукова новизна.** Вперше побудовано удосконалений алгоритм визначення потужності приводу елеватору при заданих проектних характеристиках (типі вантажу, висоті підйому, продуктивності), який враховує стандартні розміри і параметри ковшів та стрічок. **Практична значимість.** Використання запропонованого алгоритму розрахунку дає можливість відносно швидкого визначення орієнтовного значення потужності приводу вертикальних швидкохідних елеваторів із глибокими та мілкими ковшами. Також можливим є побудування графічних залежностей потужності приводу від значень продуктивності та висоти підйому при конкретному типі вантажу, що сприяє якісному підбору його основних елементів для конкретних проектних характеристик. Такий алгоритм дає можливість значно економити час на розрахунки в процесі проектування елементів елеваторів.

Ключові слова: елеватор; ківш; привід; потужність; продуктивність; вантаж; висота підйому; алгоритм

Вступ

Транспортуючі машини сьогодні широко використовуються в будь-якій галузі промисловості. Машини безперервного транспорту, як різновид транспортуючих машин, є одним із засобів комплексної механізації навантажувально-розвантажувальних робіт виробничих процесів, які суттєво підвищують продуктивність, ефективність та рентабельність виробництва. Одним з видів машин безперервного транспорту з гнучким тяговим органом є ковшові стрічкові елеватори. Елеватори за своєю конструкцією та призначенням є підйомниками вертикальної дії і використовуються для вертикального та крутопохилого (під кутом 60–82°) переміщення насипних і штучних вантажів без проміжного завантаження і розвантаження. Такі типи машин застосовуються на підприємствах хімічної, металургійної, машинобудівної промисловості, у виробництві будівельних матері-

алів, на вуглезбагачувальних фабриках, на харчових комбінатах, в зерносховищах.

Елеватори поділяються на швидкохідні та тихохідні. В цій роботі розглядаються перші з них, які характеризуються відцентровим розвантаженням. На таких елеваторах використовують лише глибокі та мілкі ковші. Глибокі ковші мають пологий обріз передньої кромки та підвищену глибину (див. рис. 1, а) та застосовуються для сухих, легкосипучих пилоподібних, зернистих та дрібнокускових вантажів (наприклад, зерна, піску, землі, дрібного вугілля). Мілкі ковші мають крутий обріз передньої кромки та малу глибину (див. рис. 1, б), що допомагає кращому розвантаженню. Такі ковші застосовують для транспортування вологих та поганосипучих, зернистих та дрібнокускових насипних вантажів.

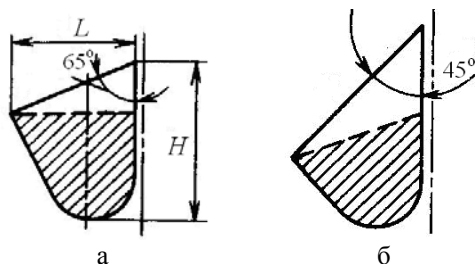


Рис. 1. Типи ковшів:

а – глибокий з циліндричним днищем;
б – мілкий з циліндричним днищем

Fig. 1. Types of scoops:

а – deep with a cylindrical bottom;
б – shallow with a cylindrical bottom

Основними публікаціями, які описують будову, конструктивні особливості, експлуатаційні та розрахункові параметри таких елеваторів є [1, 4, 5, 7, 9, 10]. Для визначення параметрів приводу елеватору, зокрема його потужності, потрібно провести розрахунок його барабанів, тягового органу (стрічки), тяговий розрахунок та виконати підбір основних елементів приводу. Порядок проведення таких розрахунків детально описаний в роботах [7, 8]. Але при залученні такої методики розрахунку приводу елеваторів витрачається досить великий час. Тому задача удосконалення алго-

ритму визначення потужності приводу елеваторів для конкретних проектних характеристик та якісного підбору його основних елементів є досить актуальною в процесі проектування елеваторів.

Мета

Метою роботи є дослідження впливу проектних характеристик ковшових стрічкових елеваторів на параметри його приводу, зокрема потужність, а також - побудова прискореного алгоритму визначення потужності приводу елеватору по його проектним характеристикам, який враховує тип вантажу, висоту підйому, необхідну продуктивність, стандартні параметри ковшів та стрічки.

Методика

Основні типи вантажів, для транспортування яких використовують швидкохідні ковшові стрічкові елеватори з глибокими та мілкими ковшами, та відповідні ним рекомендовані за джерелом [8] види ковшів та розрахункові параметри елеваторів, приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Типи вантажів та відповідні ним характеристики елеваторів

Table 1

Types of loads and descriptions of elevators corresponding to them

Насипний вантаж	Тип ко- вша	Середній коефі- цієнт заповнення ковша	Швидкість стрічки, м/с	Щільність матеріалу, т/м ³
Цемент	Г	0,8	1,25...1,8	1,0 - 1,8
Земля	М	0,6	1...2	1,1 – 1,6
Пісок сухий	М	0,6	1...2	1,4 – 1,65
Крейда з порошку	М	0,6	1...2	0,95 – 1,2
Деревна тирса	Г	0,8	1,25...2,0	0,16 – 0,32
Суша глина	Г	0,8	1,25...2,0	0,7 – 1,5
Торф фрезерний	Г	0,8	1,25...2,0	0,33 – 0,4
Дрібне вугілля	Г	0,8	1,25...2,0	0,8 – 1,0

Примітка: Типи ковшів: Г – глибокий, М – мілкий.

Діаметр привідного барабана залежить від швидкості руху та способу розвантаження ковшів. Враховуючи те, що робота присвячена швидкохідним елеватором, яким притаманно відцентрове розвантаження, то діаметр барабану визначається за формулою:

$$D \leq 0,204v^2. \quad (1)$$

де v – швидкість руху стрічки, м/с (обирається за таблицею 1).

Розраховане значення округлюється до найближчого зі стандартних з ряду: 250, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 мм.

В якості тягового органу в ківшевих елеваторах використовують стрічки за ГОСТ 23831-79, ГОСТ 20-85. Для визначеності подальших досліджень приймаємо в якості тягового органу ківшевого елеватора стрічку конвеєрну гумовотканинну за ГОСТ 20-85 типу БКНЛ-150. Кількість прокладок такої стрічки становить від 3 до 6.

Кількість прокладок стрічки визначається за формулою:

$$i = \frac{D}{125 \dots 150} \cdot \quad (2)$$

Розраховане значення має бути не менше, ніж $i_{\min} = 3$ та не перевищувати $i_{\max} = 6$. Це пояснюється тим, що такий тип стрічок має від 3-ох до 6-ти прокладок.

Тяговий розрахунок стрічкового ківшевого елеватора виконується методом обходу за контуром, основний принцип якого полягає у виявленні характерних точок траси, де відбувається зміна натягу стрічки. Схема ківшевого стрічкового елеватора з розставленими ковшами приведена на рис. 2.

Для подальших досліджень введемо до розгляду наступні коефіцієнти, які враховують властивості вантажу, що транспортується:

$$\alpha = 3,6\rho\psi \text{ т}\cdot\text{м}/\text{л}\cdot\text{год}, \quad (3)$$

$$\alpha\beta = \rho\psi g \text{ Н}/\text{м}^3, \quad (4)$$

де ψ – коефіцієнт заповнення ковшів (відповідно до фізико-механічних властивостей вантажу, табл. 1); ρ – щільність вантажу, $\text{т}/\text{м}^3$;

v – швидкість руху стрічки, м/с; g – прискорення вільного падіння, $\text{Н}/\text{кг}$.

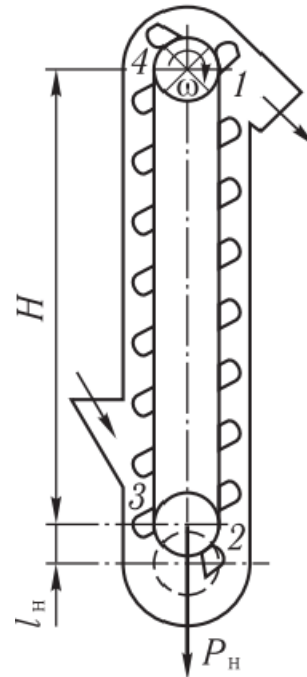


Рис. 2. Схема елеватора з розставленими ковшами

Fig. 2. A chart of elevator with placed scoops

Для визначеності в подальших дослідженнях будемо далі приймати швидкість руху стрічки та щільність матеріалу, як середнє значення між двома границями інтервалу. Для таких значень швидкості із врахуванням даних таблиці 1 приведено величини коефіцієнтів α та $\alpha\beta$ в таблиці 2.

Таблиця 2

Розрахункові параметри вантажу та елеватору

Table 2

Calculated parameters of load and elevator

Тип ковша	Насипний вантаж	Коефіцієнт заповнення ковша ψ	Щільність вантажу, $\text{т}/\text{м}^3$	Рекомендована швидкість руху стрічки v , м/с	Значення коефіцієнтів	
					α , $\text{т}\cdot\text{м}/\text{л}\cdot\text{год}$	$\alpha\beta$, $\text{Н}/\text{м}^3$
Глибокий	Цемент	0,8	1,4	1,5	6,05	10,98
	Деревна тирса	0,8	0,24	1,6	1,39	1,88
	Суша глина	0,8	1,1	1,6	5,07	8,62
	Торф фрезерний	0,8	0,36	1,6	1,66	2,82
	Дрібне вугілля	0,8	0,9	1,6	4,15	7,06
Мілкий	Земля	0,6	1,4	1,5	4,54	8,23
	Пісок сухий	0,6	1,5	1,5	1,35	8,82
	Крейда з порош-ку	0,6	1,1	1,5	0,99	6,47

Як відомо, максимальне зусилля в стрічці виникає в кінці робочої гілки, тобто у точці 4 (див. рис. 2). В попередній роботі автора [2] побудовано параметричну залежність значень зусиль у точці 4 та потужності приводу ківшевих стрічкових елеватору від його проектної продуктивності, що дало можливість отримувати необхідне значення потужності приводу із врахуванням типу та фізико-механічних влас-

тностей вантажів, величини висоти підйому та проектної продуктивності, залучаючи для розрахунку лише одну формулу. Залежності зусиль в точці 4 від коефіцієнтів α та $\alpha\beta$, висоти підйому, будови та розміру ковша, побудовані автором в роботі [2], приведені в таблицях 3 та 4.

Таблиця 3

Сила натягу в точці 4 елеватору з глибокими ковшами

Table 3

Tension force in a point 4 of the elevator with deep scoops

Ширина ковшу B_k , мм	Сила натягу при стрічці з $i = 3 \quad S_4$, Н	Сила натягу при стрічці з $i = 4 \quad S_4$, Н	Продуктивність елеватору, т/год
100	$37H + \alpha\beta(7,95 + H)$	$39,2H + \alpha\beta(7,95 + H)$	α
125	$36,4H + 1,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$39H + 1,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$1,3\alpha$
160	$47,7H + 2\alpha\beta(7,95 + H)$	$51,1H + 2\alpha\beta(7,95 + H)$	2α
200	$74,1H + 3,24\alpha\beta(7,95 + H)$	$78,4H + 3,24\alpha\beta(7,95 + H)$	$3,24\alpha$
250	$103,6H + 5\alpha\beta(7,95 + H)$	$108,8H + 5\alpha\beta(7,95 + H)$	5α
320	$138,1H + 8\alpha\beta(7,95 + H)$	$145H + 8\alpha\beta(7,95 + H)$	8α
400	$265,7H + 12,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$274,4H + 12,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$12,6\alpha$
500	$345,2H + 19\alpha\beta(7,95 + H)$	$356,4H + 19\alpha\beta(7,95 + H)$	19α
650	$438H + 28,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$451,8H + 28,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$28,6\alpha$
800	$443,3H + 40\alpha\beta(7,95 + H)$	$460,5H + 40\alpha\beta(7,95 + H)$	40α
1000	$524,6H + 56,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$545,3H + 56,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$56,25\alpha$

Продовження таблиці 3

Сила натягу в точці 4 елеватору з глибокими ковшами

Continuation of table 3

Tension force in a point 4 of the elevators with deep scoops

Ширина ковшу B_k , мм	Сила натягу при стрічці з $i = 5 \quad S_4$, Н	Сила натягу при стрічці з $i = 6 \quad S_4$, Н	Продуктивність елеватору, т/год
100	$41,3H + \alpha\beta(7,95 + H)$	$43,5H + \alpha\beta(7,95 + H)$	α
125	$41,6H + 1,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$44,2H + 1,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$1,3\alpha$
160	$54,6H + 2\alpha\beta(7,95 + H)$	$58H + 2\alpha\beta(7,95 + H)$	2α
200	$82,7H + 3,24\alpha\beta(7,95 + H)$	$87H + 3,24\alpha\beta(7,95 + H)$	$3,24\alpha$
250	$113,9H + 5\alpha\beta(7,95 + H)$	$119,1H + 5\alpha\beta(7,95 + H)$	5α
320	$151,1H + 8\alpha\beta(7,95 + H)$	$158H + 8\alpha\beta(7,95 + H)$	8α
400	$283H + 12,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$291,6H + 12,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$12,6\alpha$
500	$367,6H + 19\alpha\beta(7,95 + H)$	$378,8H + 19\alpha\beta(7,95 + H)$	19α
650	$465,6H + 28,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$479,4H + 28,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$28,6\alpha$
800	$477,8H + 40\alpha\beta(7,95 + H)$	$495H + 40\alpha\beta(7,95 + H)$	40α
1000	$566H + 56,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$586,7H + 56,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$56,25\alpha$

Сила натягу в точці 4 елеватору з мілкими ковшами

Table 4

Tension force in a point 4 of the elevator with shallow scoops

Ширина ковшу B_k , мм	Сила натягу при стрічці з $i = 3$ S_4 , Н	Сила натягу при стрічці з $i = 4$ S_4 , Н	Продуктивність елеватору, т/год
100	$32,1H + 0,5\alpha\beta(7,95 + H)$	$34,3H + 0,5\alpha\beta(7,95 + H)$	$0,5\alpha$
125	$33,4H + 0,66\alpha\beta(7,95 + H)$	$36H + 0,66\alpha\beta(7,95 + H)$	$0,66\alpha$
160	$41,5H + 1,17\alpha\beta(7,95 + H)$	$44,9H + 1,17\alpha\beta(7,95 + H)$	$1,17\alpha$
200	$61,9H + 1,87\alpha\beta(7,95 + H)$	$66,2H + 1,87\alpha\beta(7,95 + H)$	$1,87\alpha$
250	$79,1H + 3,5\alpha\beta(7,95 + H)$	$84,3H + 3,5\alpha\beta(7,95 + H)$	$3,5\alpha$
320	$138,1H + 5,4\alpha\beta(7,95 + H)$	$145H + 5,4\alpha\beta(7,95 + H)$	$5,4\alpha$
400	$246,1H + 8,4\alpha\beta(7,95 + H)$	$254,8H + 8,4\alpha\beta(7,95 + H)$	$8,4\alpha$

Продовження таблиці 4

Сила натягу в точці 4 елеватору з мілкими ковшами

Continuation of table 4

Tension force in a point 4 of the elevator with shallow scoops

Ширина ковшу B_k , мм	Сила натягу при стрічці з $i = 5$ S_4 , Н	Сила натягу при стрічці з $i = 6$ S_4 , Н	Продуктивність елеватору, т/год
100	$36,4H + 0,5\alpha\beta(7,95 + H)$	$38,6H + 0,5\alpha\beta(7,95 + H)$	$0,5\alpha$
125	$37,8H + 0,66\alpha\beta(7,95 + H)$	$40,4H + 0,66\alpha\beta(7,95 + H)$	$0,66\alpha$
160	$48,4H + 1,17\alpha\beta(7,95 + H)$	$51,8H + 1,17\alpha\beta(7,95 + H)$	$1,17\alpha$
200	$70,5H + 1,87\alpha\beta(7,95 + H)$	$74,8H + 1,87\alpha\beta(7,95 + H)$	$1,87\alpha$
250	$89,4H + 3,5\alpha\beta(7,95 + H)$	$94,6H + 3,5\alpha\beta(7,95 + H)$	$3,5\alpha$
320	$151,1H + 5,4\alpha\beta(7,95 + H)$	$158H + 5,4\alpha\beta(7,95 + H)$	$5,4\alpha$
400	$263,4H + 8,4\alpha\beta(7,95 + H)$	$272H + 8,4\alpha\beta(7,95 + H)$	$8,4\alpha$

За максимальним зусиллям, отриманим за розрахунками за допомогою таблиць 3, 4, уточнюється кількість прокладок у стрічці за формулою:

$$i = \frac{n_c S_4}{B \sigma_p k_0}, \quad (5)$$

де n_c – коефіцієнт запасу міцності стрічки (для бельтингової стрічки приймається $n_c = 11 \dots 12$);

$\sigma_p = 54 \cdot 10^3$ Н/м прокладки – границя міцності для гумотканинної стрічки;

$k_0 = 0,7 \dots 0,9$ – коефіцієнт, який враховує послаблення стрічки отворами під заклепки для кріплення ковшів.

В попередній роботі автора [6] побудовано параметричні залежності значення розрахункової потужності приводу стрічкового елеватору з глибокими та мілкими ковшами, які враховують тип вантажу, швидкість руху стрічки, коефіцієнт заповнення ковша, висоту підйому вантажу та структуру стрічки (кількість прокладок). Такі залежності приведені в таблицях 5, 6 для глибоких та мілких ковшів окремо.

Таблиця 5

Розрахункова потужність двигуна елеватора з глибокими ковшами

Table 5

Calculated power of elevator drive with deep scoops

Ширина ковшу B_k , мм	Потужність двигуна при стрічці з $i = 3$ P , Вт	Потужність двигуна при стрічці з $i = 4$ P , Вт	Продуктивність елеватору, т/год
100	$(5,9H + \alpha\beta(4+1,08H))v$	$(6,3H + \alpha\beta(4+1,08H))v$	α
125	$(5,82H + 1,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(6,2H + 1,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$1,3\alpha$
160	$(7,63H + 2\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(8,2H + 2\alpha\beta(4+1,08H))v$	2α
200	$(11,9H + 3,24\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(12,5H + 3,24\alpha\beta(4+1,08H))v$	$3,24\alpha$
250	$(16,6H + 5\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(17,4H + 5\alpha\beta(4+1,08H))v$	5α
320	$(22,1H + 8\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(23,2H + 8\alpha\beta(4+1,08H))v$	8α
400	$(42,5H + 12,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(43,9H + 12,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$12,6\alpha$
500	$(55,2H + 19\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(57H + 19\alpha\beta(4+1,08H))v$	19α
650	$(70,1H + 28,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(72,3H + 28,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$28,6\alpha$
800	$(70,9H + 40\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(73,7H + 40\alpha\beta(4+1,08H))v$	40α
1000	$(83,9H + 56,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(87,2H + 56,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$56,25\alpha$

Продовження таблиці 5

Розрахункова потужність двигуна елеватора з глибокими ковшами

Continuation of table 5

Calculated power of elevator drive with deep scoops

Ширина ковшу B_k , мм	Потужність двигуна при стрічці з $i = 5$ P , Вт	Потужність двигуна при стрічці з $i = 6$ P , Вт	Продуктивність елеватору, т/год
100	$(6,6H + \alpha\beta(4+1,08H))v$	$(7H + \alpha\beta(4+1,08H))v$	α
125	$(6,7H + 1,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(7,1H + 1,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$1,3\alpha$
160	$(8,7H + 2\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(9,3H + 2\alpha\beta(4+1,08H))v$	2α
200	$(13,2H + 3,24\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(13,9H + 3,24\alpha\beta(4+1,08H))v$	$3,24\alpha$
250	$(18,2H + 5\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(19,1H + 5\alpha\beta(4+1,08H))v$	5α
320	$(24,2H + 8\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(25,3H + 8\alpha\beta(4+1,08H))v$	8α
400	$(45,3H + 12,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(46,7H + 12,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$12,6\alpha$
500	$(58,8H + 19\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(60,6H + 19\alpha\beta(4+1,08H))v$	19α
650	$(74,5H + 28,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(76,7H + 28,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$28,6\alpha$
800	$(76,4H + 40\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(79,2H + 40\alpha\beta(4+1,08H))v$	40α
1000	$(90,6H + 56,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(93,9H + 56,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$56,25\alpha$

Таблиця 6

Розрахункова потужність двигуна елеватора з мілкими ковшами

Table 6

Calculated power of elevator drive with shallow scoops

Ширина ковшу B_k , мм	Потужність двигуна при стрічці з $i = 3$ P , Вт	Потужність двигуна при стрічці з $i = 4$ P , Вт	Продуктивність елеватору, т/год
100	$(5,1H + \alpha\beta(4+1,08H))v$	$(5,5H + \alpha\beta(4+1,08H))v$	$0,5\alpha$
125	$(5,3H + 1,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(5,8H + 1,3\alpha\beta(4+1,08H))v$	$0,66\alpha$
160	$(6,6H + 2\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(7,2H + 2\alpha\beta(4+1,08H))v$	$1,17\alpha$
200	$(9,9H + 3,24\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(10,6H + 3,24\alpha\beta(4+1,08H))v$	$1,87\alpha$
250	$(12,7H + 5\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(13,5H + 5\alpha\beta(4+1,08H))v$	$3,5\alpha$
320	$(22,1H + 8\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(23,2H + 8\alpha\beta(4+1,08H))v$	$5,4\alpha$
400	$(39,4H + 12,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$(40,8H + 12,6\alpha\beta(4+1,08H))v$	$8,4\alpha$

Розрахункова потужність двигуна елеватора з мілкими ковшами

Continuation of table 6

Calculated power of elevator drive with shallow scoops

Ширина ковшу B_k , мм	Потужність двигуна при стрічці з $i = 5$ P , Вт	Потужність двигуна при стрічці з $i = 6$ P , Вт	Продуктивність елеватору, т/год
100	$(5,8H + \alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(6,2H + \alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$0,5\alpha$
125	$(6,0H + 1,3\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(6,5H + 1,3\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$0,66\alpha$
160	$(7,7H + 2\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(8,3H + 2\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$1,17\alpha$
200	$(11,3H + 3,24\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(12H + 3,24\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$1,87\alpha$
250	$(14,3H + 5\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(15,1H + 5\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$3,5\alpha$
320	$(24,2H + 8\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(25,3H + 8\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$5,4\alpha$
400	$(42,1H + 12,6\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(43,5H + 12,6\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$8,4\alpha$

Отже, алгоритм визначення потужності приводу елеватора при заданих продуктивності Π , висоти підйому H , типу вантажу має такий вигляд:

1. За таблицею 1 обираємо вид ковша (глибокий або мілкий) для визначеного вантажу.
2. За таблицею 2 обираємо величину коефіцієнту $\alpha\beta$ та рекомендовану швидкість руху стрічки v .

3. За формулою (1) розраховуємо величину діаметру привідного барабану елеватора D та обираємо його значення зі стандартного ряду.

4. За формулою (2) розраховуємо необхідну кількість прокладок стрічки.

5. За таблицями 3, 4 (в залежності від конфігурації ковша, величини α (див. табл. 2) та кількості прокладок стрічки) розраховуємо для означеної величини продуктивності значення зусилля S_4 .

6. За отриманим значенням S_4 перевіряємо на міцність стрічку з обраною кількістю прокладок за формулою (5) (за необхідністю уточнюємо кількість прокладок, перераховуємо величину S_4 та знову перевіряємо кількість прокладок стрічки).

7. За таблицями 5, 6 (в залежності від конфігурації ковша, величини α (див. табл. 2) та кількості прокладок стрічки) обираємо тип параметричної залежності розрахункової потужності.

8. За обраною залежністю будуємо графічну залежність розрахункової потужності від висоти підйому вантажу $P = f(H)$.

9. Підставивши задану висоту підйому вантажу в отриману залежність $P = f(H)$ розраховуємо орієнтовне значення необхідної потужності приводу елеватору.

10. При фіксованій величині висоти підйому вантажу H визначаємо залежність значення потужності приводу від продуктивності та будуємо її графічне зображення.

Результати

Розглянемо методику побудови залежності потужності від основних параметрів (продуктивності, висоти підйому та типу вантажу) для розрахунку елеватору на наступному прикладі:

- вантаж – цемент;
- продуктивність $\Pi = 75$ т/год;
- висота підйому $H = 10$ м.

За запропонованим вище алгоритмом проведемо розрахунок:

1. За таблицею 1 обираємо вид ковша для транспортування цементу – глибокий.

2. За таблицею 2 для цементу обираємо:
- величину коефіцієнту $\alpha\beta = 10,98$ Н/м³;

- рекомендовану швидкість руху стрічки $v = 1,5$ м/с;

- величину коефіцієнту $\alpha = 6,05$ т·м/л·год;

3. За формулою (1) розраховуємо величину діаметру привідного барабану елеватора D :

$$D \leq 0,204v^2 = 0,204 \cdot 1,5^2 = 0,459 \text{ м.}$$

За розрахованим значенням обираємо стандартне значення діаметру барабану $D = 0,5$ м.

4. За формулою (2) розраховуємо необхідну кількість прокладок стрічки:

$$i = \frac{D}{125 \dots 150} = \frac{500}{125 \dots 150} = 4 \dots 3,33.$$

Приймаємо необхідну кількість прокладок стрічки $i = 4$.

5. Оскільки для транспортування цементу використовується елеватор з глибокими ковшами та стрічкою з чотирма прокладками (див. п. 4), то таблиця 3 буде мати вигляд:

Сила натягу в точці 4 елеватору з глибокими ковшами при транспортуванні цементу

Table 7

Tension force in a point 4 of elevator with deep scoops at transporting of cement

Ширина ковшу B_k , мм	Сила натягу при стрічці з $i = 3 \quad S_4$, Н	Сила натягу при стрічці з $i = 4 \quad S_4$, Н	Продуктивність елеватору, т/год
100	$37H + \alpha\beta(7,95 + H)$	$39,2H + \alpha\beta(7,95 + H)$	6,05
125	$36,4H + 1,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$39H + 1,3\alpha\beta(7,95 + H)$	7,87
160	$47,7H + 2\alpha\beta(7,95 + H)$	$51,1H + 2\alpha\beta(7,95 + H)$	12,1
200	$74,1H + 3,24\alpha\beta(7,95 + H)$	$78,4H + 3,24\alpha\beta(7,95 + H)$	19,6
250	$103,6H + 5\alpha\beta(7,95 + H)$	$108,8H + 5\alpha\beta(7,95 + H)$	30,25
320	$138,1H + 8\alpha\beta(7,95 + H)$	$145H + 8\alpha\beta(7,95 + H)$	48,4
400	$265,7H + 12,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$274,4H + 12,6\alpha\beta(7,95 + H)$	76,2
500	$345,2H + 19\alpha\beta(7,95 + H)$	$356,4H + 19\alpha\beta(7,95 + H)$	115
650	$438H + 28,6\alpha\beta(7,95 + H)$	$451,8H + 28,6\alpha\beta(7,95 + H)$	173
800	$443,3H + 40\alpha\beta(7,95 + H)$	$460,5H + 40\alpha\beta(7,95 + H)$	242
1000	$524,6H + 56,3\alpha\beta(7,95 + H)$	$545,3H + 56,3\alpha\beta(7,95 + H)$	340,3

Оскільки проектна продуктивність $\Pi = 75$ т/год, тоді за таблицею 7 обираємо залежність, що знаходиться у 3-ому стовбці та 7-ому рядку, тобто відповідає ширині ковша 400 мм (ширина стрічки 500мм):

$$S_4 = 274,4H + 12,6\alpha\beta(7,95 + H) = 274,4 \cdot 10 + 12,6 \cdot 10,98(7,95 + 10) = 5186,6 \text{ Н.}$$

6. За отриманим значенням S_4 перевіряємо на міцність стрічку з обраною кількістю прокладок за формулою (5):

$$i = \frac{n_c S_4}{B \sigma_p k_0} = \frac{11 \cdot 5186,6}{0,5 \cdot 54 \cdot 10^3 \cdot 0,7} = 3,02.$$

Тобто обрана кількість ($i = 4$) прокладок задовольняє умові міцності стрічки.

7. Оскільки для транспортування цементу використовується елеватор з глибокими ковшами та стрічкою з чотирма прокладками (див. п. 7), то таблиця 5 буде мати вигляд:

Таблиця 8

Розрахункова потужність двигуна елеватора з глибокими ковшами при транспортуванні цементу

Table 8

Calculated power of elevator drive with deep scoops at transporting of cement

Ширина ковшу B_k , мм	Потужність двигуна при стрічці з $i = 3 \quad P$, Вт	Потужність двигуна при стрічці з $i = 4 \quad P$, Вт	Продуктивність елеватору, т/год
100	$(5,9H + \alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(6,3H + \alpha\beta(4 + 1,08H))v$	6,05
125	$(5,82H + 1,3\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(6,2H + 1,3\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	7,87
160	$(7,63H + 2\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(8,2H + 2\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	12,1
200	$(11,9H + 3,24\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(12,5H + 3,24\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	19,6
250	$(16,6H + 5\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(17,4H + 5\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	30,25
320	$(22,1H + 8\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(23,2H + 8\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	48,4
400	$(42,5H + 12,6\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(43,9H + 12,6\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	76,2
500	$(55,2H + 19\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(57H + 19\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	115
650	$(70,1H + 28,6\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(72,3H + 28,6\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	173
800	$(70,9H + 40\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(73,7H + 40\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	242
1000	$(83,9H + 56,3\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	$(87,2H + 56,3\alpha\beta(4 + 1,08H))v$	340,3

Оскільки проектна продуктивність $\Pi = 75$ т/год, тоді за таблицею 8 обираємо залежність, що знаходиться у 3-ому стовбці у 7-

ому рядку, тобто відповідає ширині ковша 400 мм (ширина стрічки 500мм):

$$P = (43,9H + 12,6\alpha\beta(4 + 1,08H))v. \quad (6)$$

8. За залежністю (6) будемо графічну залежність розрахункової потужності від висоти підйому вантажу $P = f(H)$:

при $\alpha\beta = 10,98 \text{ Н/м}^3$ та $v = 1,5 \text{ м/с}$, маємо залежність:

$$P = (43,9H + 12,6 \cdot 10,98(4 + 1,08H)) \cdot 1,5 = 289,97H + 830,1 \quad (7)$$

Графічна залежність значення потужності приводу елеватору при транспортуванні цементу з проектною продуктивністю $\Pi = 75 \text{ т/год}$ від висоти підйому зображена на рис. 3.

9. Підставивши задану висоту підйому вантажу в отриману залежність $P = f(H)$ розраховуємо орієнтовне значення необхідної потужності приводу елеватору:

$$P = 289,97 \cdot 10 + 830,1 = 3729,8 \approx 3,7 \text{ кВт.}$$

10. При фіксованій величині висоти підйому вантажу $H = 10 \text{ м}$ залежність значення потужності приводу від продуктивності має вигляд:

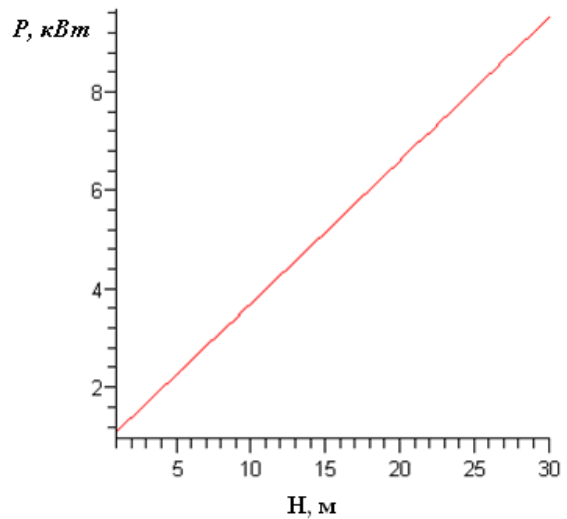


Рис. 3. Графічна залежність потужності приводу елеватору від висоти підйому

Fig. 3. Graphic dependence of power of elevator drive on the rise height

Таблиця 9

Залежність величини потужності двигуна елеватору від висоти підйому при транспортуванні цементу

Table 9

Size dependence of power of the elevator drive on the rise height at transporting of cement

Ширина ковшу B_k , мм	Потужність двигуна при стрічці з $i = 4$ P , Вт	Продуктивність елеватору, т/год
100	338,3	6,05
125	409,9	7,87
160	610,5	12,1
200	977,3	19,6
250	1479,8	30,25
320	2298	48,4
400	3729,8	76,2
500	5486,3	115
650	8055,8	173
800	10855,5	242
1000	15032,1	340,3

Використовуючи дані таблиці 9, побудуємо графічне зображення такої залежності.

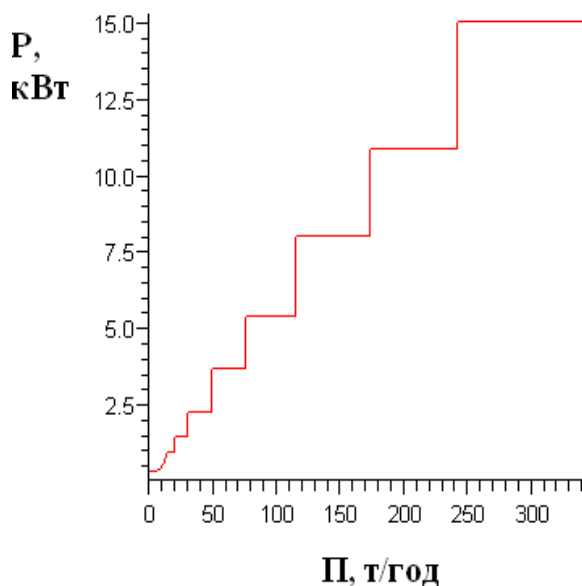


Рис. 4. Графічна залежність значення потужності приводу елеватору від продуктивності

Fig. 4. Graphic dependence of power of the elevator drive on the productivity

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано удосконалений алгоритм визначення потужності приводу швидкохідних ковшових стрічкових елеваторів з глибокими та мілкими ковшами.

Використання запропонованого алгоритму розрахунку дає можливість відносно швидкого визначення орієнтовного значення потужності приводу вертикальних швидкохідних елеваторів

з глибокими та мілкими ковшами та побудувати графічні залежності потужності приводу від значень продуктивності та висоти підйому при конкретному типі вантажу, що сприяє якісному підбору його основних елементів при конкретних проектних характеристиках: тип вантажу, продуктивність, висота підйому.

Висновки

Для швидкохідних ківшевих стрічкових елеваторів побудовано алгоритм прискореного розрахунку орієнтовного значення потужності приводу від його проектних характеристик, що дає можливість досить швидкого отримання значення потужності приводу із врахуванням типу та фізико-механічних властивостей вантажів, величини висоти підйому та проектної продуктивності. Для прикладу залучення отриманих в роботі результатів розглянуто алгоритм визначення величини потужності приводу елеватору, призначеного для транспортування цементу. Для такого елеватору також побудовано графічні залежності потужності приводу від проектної продуктивності та висоти підйому вантажу. Встановлено, що функція зміни величини потужності елеватору від проектної продуктивності (при фіксованих висоті підйому, типу вантажу, швидкості руху стрічки) є кусково-сталою та монотонно зростаючою, а від висоти підйому (при фіксованих продуктивності, типу вантажу, швидкості руху стрічки) – лінійною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины : учебник / М. П. Александров. – Москва : Высш. шк., 2000. – 522 с.
2. Богомаз, В. М. Дослідження впливу проектної продуктивності елеватору на потужність його приводу / В. М. Богомаз, К. Ц. Главацький, О. А. Мазур // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 2 (56). – С. 189 – 206. doi: 10.15802/stp2015/42178.
3. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта : учебник / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 432 с.
4. Иванченко, Ф. К. Подъемно-транспортные машины : підручник / Ф. К. Иванченко. – Київ : Вища шк., 1993. – 413 с.
5. Катрюк, И. С. Машины непрерывного транспорта. Конструкции, проектирование и эксплуатация : учеб. пособие / И. С. Катрюк, Е. В. Мусияченко. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006. – 266 с.
6. Кузьмин, А. В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин : учеб. пособие / А. В. Кузьмин. – Минск : Вышэйш. шк., 1983. – 350 с.
7. Підйомно-транспортні машини: розрахунки підймальних і транспортувальних машин : підручник / В. С. Бондарев, О. І. Дубинець, М. П. Колісник [та ін.]. – Київ : Вища шк., 2009. – 734 с.
8. Ракша, С. В. Аналіз впливу пружних деформацій несучого каната на зусилля в тяговому канаті підвісної дороги / С. В. Ракша, Ю. К. Горячов, О. С. Куроп'ятник // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. –

- № 6 (48). – С. 110–119. doi: 10.15802/stp2013/19686.
9. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия: науч. пособие для вузов / А. И. Барышев, В. А. Будишевский, А. А. Сулима, А. М. Ткачук. – Донецк : Норд-Пресс, 2005. – 689 с.
10. Ромакин, Н. Е. Машины непрерывного транспорта : учеб. пособие / Н. Е. Ромакин. – Москва : Академия, 2008. – 432 с.
11. Jamaludin, J. Development of a self-tuning fuzzy logic controller for intelligent control of elevator systems / J. Jamaludin, N. A. Rahim, W. P. Hew // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2009. – Vol. 22, iss. 8. – P. 1–12. doi: 10.1016/j.engappai.2009.04.006.
12. Kim, C. S. Nonlinear robust control of a hydraulic elevator: experiment-based modeling and two-stage Lyapunov redesign / C. S. Kim, K. S. Hong, M. K. Kim // Control Engineering Practice. – 2005. – Vol. 13, iss. 6. – P. 789–803. doi: 10.1016/j.conengprac.2004.09.003.
13. Strakosch, G. R. The Vertical Transportation Handbook / G. R. Strakosch, R. S. Caporale. – New York : John Wiley&Sons, 2010. – 610 p. doi: 10.1002/9780470949818.

В. Н. БОГОМАЗ^{1*}

^{1*}Каф. «Прикладная механика», Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕВАТОРА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО ПРИВОДА

Цель. Привод относится к основным элементам ленточных ковшевых элеваторов. Для определения мощности привода проводятся расчеты по стандартным методикам, для чего требуется достаточно времени. В работе необходимо провести анализ влияния проектных характеристик на параметры привода быстроходных ковшевых ленточных элеваторов и построить усовершенствованный алгоритм ускоренного определения мощности его привода по проектным характеристикам. Этот алгоритм будет учитывать тип груза, высоту подъема, необходимую производительность, стандартные параметры ковшей и ленты. **Методика.** Используя параметрические зависимости мощности привода элеваторов от его проектных характеристик (полученных автором ранее), предложен усовершенствованный алгоритм ускоренного определения мощности привода быстроходных элеваторов с глубокими и мелкими ковшами при заданных типах груза, производительности, высоте подъема. **Результаты.** Предложен алгоритм ускоренного определения мощности привода быстроходных вертикальных элеваторов с глубокими и мелкими ковшами в зависимости от проектных параметров. Рассмотрен пример применения такого алгоритма для элеватора, предназначенного для транспортировки цемента. Определены аналитические зависимости мощности привода такого элеватора от производительности и высоты подъема. Построены соответствующие графические зависимости и установлен характер изменения мощности привода при изменении величины каждой из проектных характеристик. **Научная новизна.** Впервые построен усовершенствованный алгоритм определения мощности привода элеватора при заданных проектных характеристиках (типе груза, высоте подъема, производительности), который учитывает стандартные размеры, параметры ковшей и лент. **Практическая значимость.** Использование предложенного алгоритма расчета предоставляет возможность относительно быстрого определения ориентировочного значения мощности привода быстроходных элеваторов с глубокими и мелкими ковшами. Также возможным является построение графических зависимостей мощности привода от значений производительности и высоты подъема при конкретном типе груза, что способствует качественному подбору его основных элементов для конкретных проектных характеристик. Такой алгоритм дает возможность значительно экономить время на расчеты в процессе проектирования элементов элеваторов.

Ключевые слова: элеватор; ковш; привод; мощность; производительность; груз; высота подъема; алгоритм

В. М. ВОНОМАЗ^{1*}

^{1*}Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

ANALYSES OF INFLUENCE CHARACTERISTICS OF THE ELEVATOR TO THE PARAMETERS OF ITS DRIVE

Purpose. A drive behaves to the basic elements of scoop band elevators. To determine the drive power calculations are carried out according to standard methods, which take plenty of time. It is necessary to conduct the analysis of influence of project characteristics on the parameters of high-speed drive in a scoop bent elevator and to build the improved algorithm of speed-up determination of its drive power on project descriptions, that will take into account the type of load, rise height, necessary productivity, standard parameters of scoops and tape. **Methodology.** Using parametric dependences of elevators drive power on its project characteristics, received by the author earlier, the improved algorithm of speed-up determination of elevators high-speed drive power with deep and shallow scoops at set type of load, productivity, rise height was offered. **Findings.** The algorithm of drive power speed-up determination of high-speed vertical elevators with deep and shallow scoops depending on project parameters was offered. The example of such algorithm application is considered for an elevator that is intended for transporting of cement. Analytical dependences of drive power of such elevator are determined on the productivity and rise height. Corresponding graphic dependences were built and character of drive power changes during the size changing of any project characteristics was determined. **Originality.** The improved algorithm of drive power elevator determination at the given project characteristics (type of load, rise height, productivity) that takes into account standard sizes, parameters of scoops and ribbons, was built at first time. **Practical value.** The use of an offered algorithm of calculation gives the possibility of relatively fast determination of reference value of high-speed elevators drive power with deep and shallow scoops, to build graphic dependences of drive power on the values of the productivity and rise height at the certain type of load, that assists the quality selection of his basic elements at certain project descriptions, such algorithm gives an opportunity to save time on calculations in the process of elevators planning.

Keywords: elevator; scoop; drive; power; productivity; load; height of rising; algorithm

REFERENCES

1. Aleksandrov M.P. *Podemno-transportnyye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 522 p.
2. Bohomaz V.M., Hlavatskyi K.Ts., Mazur O.A. Doslidzhennia vplyvu proektnoi produktyvnosti elevatoru na potuzhnist yoho pryvodu [Research of influencing of project descriptions of elevator on parameters of its drive]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 2 (56), pp. 189–206. doi: 10.15802/stp2015/42178.
3. Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. *Mashyny nepreryvnogo transporta* [Continuous transport]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1987. 432 p.
4. Ivanchenko F.K. *Pidiomno-transportni mashyny* [Lifting-transport machines]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 1993. 413 p.
5. Katryuk I.S., Musiyachenko Ye.V. *Mashyny nepreryvnogo transporta. Konstruktsii, proektirovaniye i ekspluatatsiya* [Continuous vehicles. Construction, design and operation]. Krasnoyarsk, Izdatelsko-poligraficheskii tsentr Krasnoyarskii Gosudarstvennyi Tekhnicheskii Universitet Publ., 2006. 266 p.
6. Kuzmin A.V. *Spravochnik po raschetam mekhanizmov podmno-transportnykh mashin* [Guide to calculations of the mechanisms of lifting-transport machines]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1983. 350 p.
7. Bondariyev V.S., Dubynets O.I., Kolisnyk M.P. *Pidiomno-transportni mashyny: rozrakhunky pidiimalnykh i transportovalnykh mashyn* [Lifting-transport machines: calculations of lifting and transportation machines]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 2009. 734 p.
8. Raksha S.V., Horiachov Yu.K., Kuropiatnyk O.S. Analiz vplyvu pruzhnykh deformatsii nesuchoho kanata na zusyillia v tiahovomu kanati pidvisnoi dorohy [Influence analysis of elastic deformations of the track cable on efforts in the hauling rope of aerial ropeway]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 110–119. doi: 10.15802/stp2013/19686.
9. Baryshev A.I., Budishevskiy V.A., Sulima A.A., Tkachuk A.M. *Raschet i proektirovaniye transportnykh sredstv nepreryvnogo deystviya* [Calculation and design of continuous action vehicles]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2005. 689 p.
10. Romakin N.Ye. *Mashyny nepreryvnogo transporta* [Continuous vehicles]. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 432 p. doi: 10.15802/stp2013/19686
11. Jamaludin J., Rahim N.A., Hew W.P. Development of a self-tuning fuzzy logic controller for intelligent control of elevator systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2009, vol. 22, issue 8, pp. 1–12. doi: 10.1016/j.engappai.2009.04.006.

12. Kim C.S., Hong K.S., Kim M.K. Nonlinear robust control of a hydraulic elevator: experiment-based modeling and two-stage Lyapunov redesign. *Control Engineering Practice*, 2005, vol. 13, issue 6, pp. 789-803. doi: 10.1016/j.conengprac.2004.09.003.
13. Strakosch G.R., Caporale R.S. The Vertical Transportation Handbook. New York, John Wiley&Sons Publ., 2010. 610 p. doi: 10.1002/9780470949818.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Ракишою (Україна); д.т.н., проф. В. Г. Заренбіним (Україна)

Надійшла до редколегії 11.02.2015

Прийнята до друку 21.04.2015