

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА

© Бондарчук Б.В., 2013

Розглядаються результати експериментальних досліджень перехідних режимів роботи пасажирського ліфта. Вивчено вплив маси вантажу і довжини вітки каната, за допомогою якої передається рух від ведучого шківів до кабіни, на динамічні зусилля у канаті. Проводиться порівняльний аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

The results of the experimental research of transient modes of the passenger elevator are considered. There are investigated the influence of load mass and the length of the rope branch by which the motion is transmitted from the driving pulley to the cabin on the dynamic efforts in the rope. The comparative analysis of the results of theoretical and experimental studies is carried out.

Вступ. Під час проектування пасажирських ліфтів постає потреба оцінки впливу динамічних явищ, що виникають в нестационарних режимах роботи привідної системи, на навантаження елементів конструкцій [10]. Важливими особливостями динамічного аналізу підйомального механізму ліфта є необхідність врахування взаємодії пружної механічної системи з привідним двигуном або гальмівним пристроєм, а також несталості коефіцієнтів жорсткості віток каната [1–4, 6, 9].

Загальну теорію пасажирських ліфтів, а також основи розрахунку їхніх елементів розглянуто у [5, 10]. Математична модель режимів пуску підйомальної машини з урахуванням нерозривного взаємозв'язку електромагнітних коливальних явищ в асинхронному двигуні і механічних коливань у підйомальній системі детально розглядається у [8]. Аналіз динамічних процесів зводиться до сумісного розв'язування рівнянь руху і рівнянь електромагнітного стану асинхронного двигуна. Такий підхід до математичного моделювання дає змогу забезпечити достатню точність розрахунку пускових режимів роботи підйомальної машини.

Математичне моделювання гальмівних режимів роботи пасажирського ліфта з урахуванням експоненціальної залежності гальмівного моменту від часу розглянуто у [7]. Результати теоретичних досліджень показують, що найбільші моменти в пружних ланках та найбільші зусилля у вітках каната кабіни і противаги виникають під час часткового сповільнення кабіни [7].

Оскільки в теоретичних дослідженнях застосовані розрахункові моделі зі скінченною кількістю ступенів вільності і наближено враховано взаємодію віток каната зі шківом, експериментальні дослідження є важливим етапом у вивченні динамічних процесів, які відбуваються під час роботи підйомально-транспортної машини.

Мета роботи – експериментально визначити кінематичні характеристики руху кабіни і зусилля у вітці каната, пов'язаній з кабіною, та провести порівняльний аналіз теоретичних і експериментальних результатів досліджень.

Методика проведення експерименту і вимірювальна апаратура. У роботі наведено результати експериментальних досліджень перехідних режимів роботи діючого пасажирського ліфта типу ПП-0411 в реальних умовах експлуатації. Підйомальна машина складається з асинхронного двигуна, колодкового гальма, черв'ячного редуктора, привідного шківів, а також кабіни і противаги,

що з'єднані між собою за допомогою перекинутого через шків каната. Основні технічні характеристики підйально-транспортної машини наведені в табл. 1. Для вимірювання та реєстрації переміщення, швидкості і прискорення кабіни ліфта використовували вимірювач кінематичних і динамічних параметрів ліфтів ІКПЛ-МЗ (рис. 1).

Таблиця 1

Основні технічні характеристики пасажирського ліфта ПП-0411

Загальні характеристики		
Вантажність, кг	400	
Номинальна швидкість руху, м/с	1/0,3	
Тип лебідки	редукторна з канатоведучим шківом	
Діаметр канатоведучого шківа, мм	770	
Маса, кг:		
– кабіни (у зібраному вигляді)	595	
– противаги (у зібраному вигляді)	795	
Канат		
Конструкція	ЛК–06×19 (1+9+9) + 2 о. с. ГОСТ 3077–80	
Діаметр, мм	10,5	
Кількість канатів	3	
Розрахункова площа перерізу усіх дротів, мм ²	39,54	
Орієнтовна маса 1000 м змашеного каната, кг	387,5	
Гальмо		
Тип	колодкове МП-201	
Діаметр гальмівного шківа, мм	200	
Привід гальма	Тип	електричний
	Зусилля, кН	0,932
	Хід виконавчого органа, мм	4
Редуктор		
Тип	черв'ячний	
Передаточне число	40	
Міжосьова відстань елементів передачі, мм	160	
Маса, кг	242	
Електродвигун		
Тип	асинхронний двошвидкісний з короткозамкненим ротором 4АМН160S6/18НЛБУЗ	
Вид струму	змінний	
Напруга, В	380	
Номинальний струм, А	13,3/11,6	
Частота, Гц	50	
Потужність, кВт	3/1	
Частота обертання, об/хв	1000/333	
Маса, кг	165	

Вимірювальний перетворювач 1 (рис. 1, а), за допомогою якого визначаються переміщення, закріплювали на даху кабіни. Ролик 2 вимірювального перетворювача під час проведення експерименту був притиснений до направляючої ліфта 3. Мобільний комп'ютер 4 (рис. 1, б) розташовували в кабіні ліфта і з'єднували за допомогою кабеля з вимірювачем 1. Значення лінійної швидкості та лінійного прискорення кабіни одержували диференціюванням часової залежності переміщення.

Перехідні процеси досліджували під час піднімання ліфта з першого поверху на третій, а також під час його опускання з третього поверху на перший. Ліфт приводили в рух за допомогою пульта, який знаходиться в кабіні. На екрані комп'ютера спостерігали графічні залежності переміщення, швидкості та прискорення кабіни ліфта від часу. Згадані результати записували у пам'ять комп'ютера.

Дослідження перехідних параметрів проводили для таких значень маси вантажу: 100, 200, 300, 400 кг. При цьому використовували спеціальні баластні вантажі масою 20 кг.

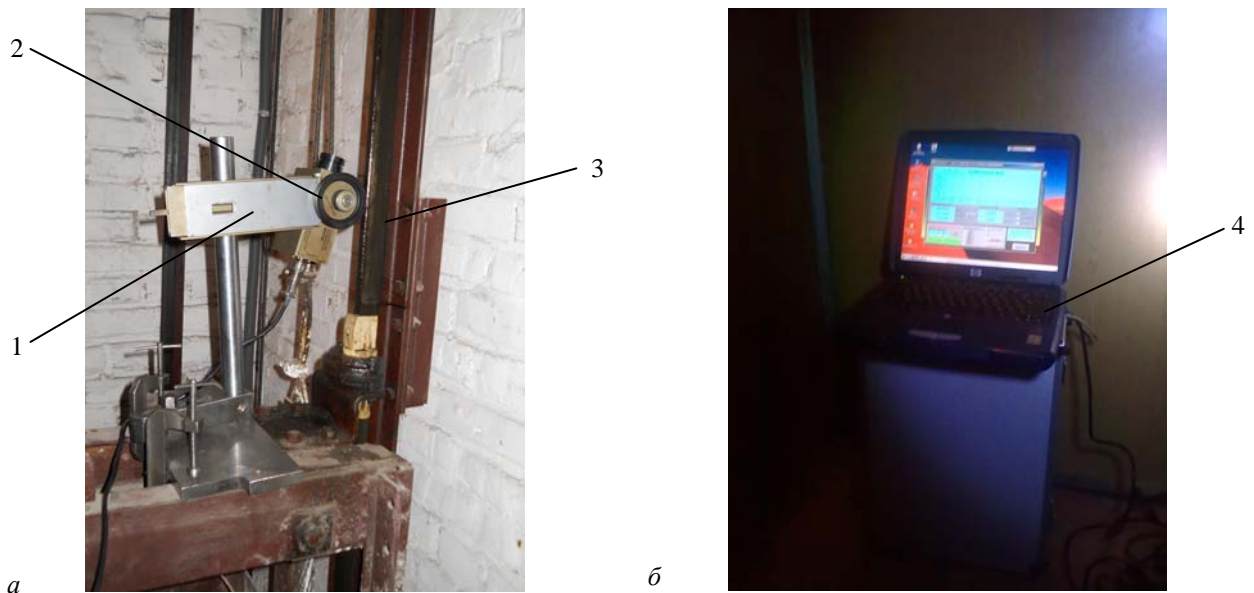


Рис. 1. Вимірювач ИКПЛ-М3 (а) та комп'ютер з програмним забезпеченням (б)

Результати експериментальних досліджень. Розглянемо рух ліфта із максимально завантаженою кабіною.

На рис. 2 і 3 зображені часові залежності кінематичних характеристик у перехідних режимах руху привідного механізму підйомної машини. Залежності, показані на рис. 2, а та 3, а, ілюструють переміщення кабіни вгору та вниз, що триває протягом 12,5 та 12,3 с відповідно. Графіки, зображені на рис. 2, б та 3, б, ілюструють зміну в часі лінійної швидкості кабіни на п'яти етапах руху вгору та вниз: розгін кабіни до 1 м/с протягом 0,5 с (за руху вгору) або протягом 0,3 с (за руху вниз); усталений режим роботи тривалістю 8,75 с; зменшення швидкості до 0,3 м/с; рух кабіни зі швидкістю 0,3 м/с протягом 2,5 с; гальмування протягом 0,25 с.

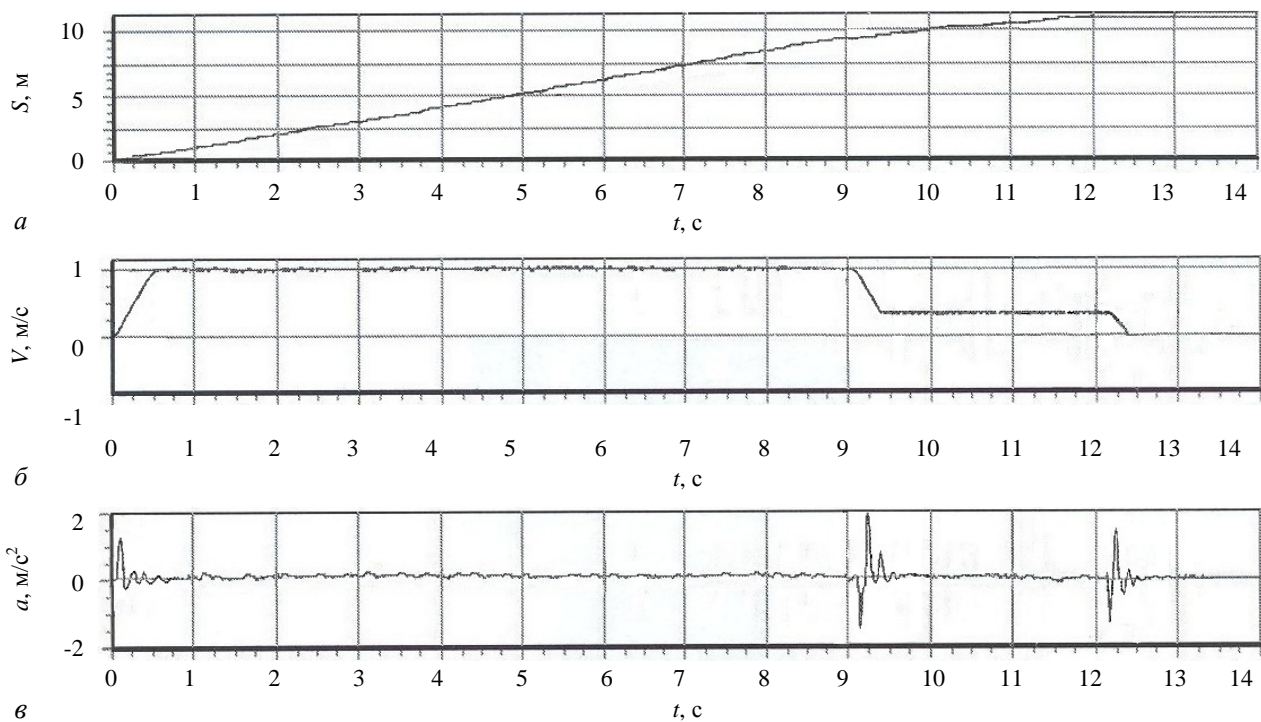


Рис. 2. Часові залежності переміщення (а), швидкості (б) та прискорення (в) ліфта під час руху вгору із максимально завантаженою кабіною

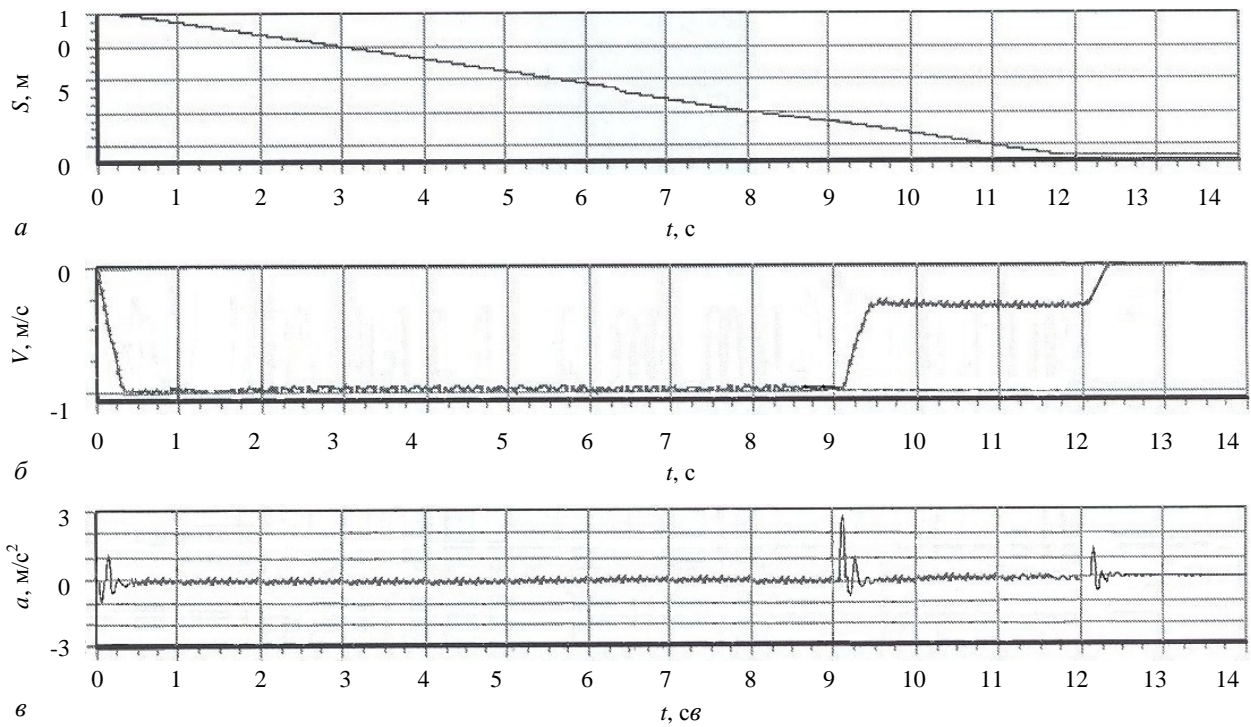


Рис. 3. Часові залежності переміщення (а), швидкості (б) та прискорення (в) ліфта під час руху вниз із максимально завантаженою кабіною

Часові залежності прискорення кабіни ліфта зображені на рис. 2, в та 3, в. На початку руху кабіни вгору та вниз її максимальне прискорення досягає значень 1,35 та 1,04 м/с² відповідно; в процесі сповільнення – 2,02 та 2,83 м/с² відповідно; в процесі гальмування – 1,46 та 1,54 м/с² відповідно.

За значеннями максимального прискорення кабіни, що отримані під час експериментальних досліджень, обчислюємо зусилля у вітці каната кабіни:

$$N_{max} = m_c(g + a_{max}),$$

де m_c – маса кабіни з вантажем; g – прискорення вільного падіння; a_{max} – максимальне алгебраїчне значення прискорення.

Значення коефіцієнта динамічності обчислювали за формулою

$$k_{дин.N} = \frac{N_{max}}{N_{ст}},$$

де $N_{ст}$ – статичне значення зусилля у підйимальному канаті.

Максимальні значення прискорення кабіни під час її розгону a_{1max} , сповільнення a_{2max} та гальмування a_{3max} , зусиль у підйимальному канаті N_{1max} , N_{2max} , N_{3max} , а також коефіцієнти динамічності зусиль $k_{1дин}$, $k_{2дин}$, $k_{3дин}$ наведені для режиму руху кабіни вгору у табл. 2, а для режиму руху кабіни вниз – у табл. 3.

Таблиця 2

Максимальні значення прискорень, зусиль у підйимальному канаті та коефіцієнти динамічності зусиль для режиму руху вгору

m_c , кг	Значення прискорень, зусиль та коефіцієнтів динамічності								
	a_{1max} , м/с ²	a_{2max} , м/с ²	a_{3max} , м/с ²	N_{1max} , кН	N_{2max} , кН	N_{3max} , кН	$k_{1дин}$	$k_{2дин}$	$k_{3дин}$
595	1,60	2,14	1,34	6,789	7,110	6,634	1,163	1,218	1,137
700	1,52	2,13	1,42	7,931	8,358	7,861	1,155	1,217	1,145
800	1,45	2,09	1,43	9,008	9,520	8,992	1,148	1,213	1,146
900	1,40	2,05	1,45	10,089	10,674	10,134	1,143	1,209	1,148
995	1,35	2,02	1,46	11,104	11,771	11,214	1,138	1,206	1,149

**Максимальні значення прискорень, зусиль у підйимальному канаті
та коефіцієнти динамічності зусиль для режиму руху вниз**

m_c , кг	Значення прискорень, зусиль та коефіцієнтів динамічності								
	a_{1max} , м/с ²	a_{2max} , м/с ²	a_{3max} , м/с ²	N_{1max} , кН	N_{2max} , кН	N_{3max} , кН	$k_{1дин}$	$k_{2дин}$	$k_{3дин}$
595	1,00	2,65	1,54	6,432	7,414	6,753	1,102	1,270	1,157
700	1,00	2,66	1,49	7,567	8,729	7,910	1,102	1,271	1,152
800	1,02	2,82	1,44	8,664	10,104	9,010	1,104	1,287	1,147
900	1,02	2,82	1,48	9,747	11,367	10,161	1,104	1,287	1,151
995	1,04	2,83	1,54	10,796	12,577	11,293	1,106	1,289	1,157

Як бачимо із результатів експериментальних досліджень, найбільші значення прискорення та найбільші динамічні навантаження у вітці підйимального каната виникають в період руху вниз у процесі сповільнення. Коефіцієнт динамічності цих зусиль знаходиться у мажах 1,270...1,289.

Під час руху кабіни вгору зі збільшенням маси вантажу прискорення у процесах пуску та сповільнення спадає, а в процесах гальмування – зростає. Під час руху кабіни вниз зі збільшенням маси вантажу прискорення у процесах пуску здебільшого від маси вантажу майже не залежить, в процесах сповільнення зі збільшенням маси вантажу зростає. Натомість під час гальмування кабіни з вантажем загальною масою 595...800 кг прискорення спадає, а загальною масою 900...995 кг – зростає.

Коефіцієнт динамічності зусилля у вітці підйимального каната під час руху вгору зі збільшенням маси вантажу у процесах пуску та сповільнення спадає, а в процесах гальмування – зростає. Під час руху вниз коефіцієнт динамічності зусилля у підйимальному канаті зі збільшенням маси вантажу в процесах пуску та сповільнення зростає. Натомість під час гальмування кабіни з вантажем загальною масою 595...800 кг коефіцієнт динамічності зусилля спадає, а загальною масою 900...995 кг – зростає.

З метою проведення порівняльного аналізу результатів теоретичних досліджень динаміки ліфта, викладених у [7, 8], та результатів експериментальних досліджень проведено розрахунки усіх розглянутих динамічних режимів підйимально-транспортної машини. Розрахунки виконано за таких вихідних даних механічної системи приводу: двигун типу 4АМН160S6/18НЛБУЗ, амплітуда напруги мережі живлення – $U_m=310,5$ В, кількість пар магнітних полюсів – $p_{01}=3$, $p_{02}=9$; редуктор – РГЛ-160, передавальне число якого $u=40$, зведений до вихідного вала момент інерції рухомих частин $I_2=4$ кг·м²; момент інерції привідного шківів – $I_3=12$ кг·м², радіус шківів – $r_3=0,385$ м; канат ЛК-06×10 діаметром 10,5 мм, площею поперечного перерізу $A=39,54$ мм², погонною масою – $p=0,39$ кг/м та модулем пружності – $E=0,97 \cdot 10^5$ МПа; кабіна власною масою 595 кг і вантажністю 400 кг та противага масою 795 кг; колодкове гальмо МП-201, гальмівний момент якого $M_G=100$ Н·м, час спрацювання гальма – $t_{зр}=0,15$ с.

Максимальні значення зусиль у підйимальному канаті під час розгону N_{1max} , сповільнення N_{2max} та гальмування N_{3max} , а також коефіцієнти динамічності цих зусиль $k_{1дин}$, $k_{2дин}$, $k_{3дин}$ наведені для режиму руху кабіни вгору у табл. 4, а для режиму руху кабіни вниз – у табл. 5.

Таблиця 4

**Максимальні значення зусиль у підйимальному канаті та коефіцієнти
динамічності зусиль для режиму руху вгору**

m_c , кг	Значення прискорень, зусиль та коефіцієнтів динамічності					
	N_{1max} , кН	N_{2max} , кН	N_{3max} , кН	$k_{1дин}$	$k_{2дин}$	$k_{3дин}$
595	8,021	8,150	7,315	1,374	1,396	1,253
700	9,160	9,524	8,935	1,334	1,387	1,301
800	10,129	10,750	10,051	1,291	1,370	1,281
900	11,538	12,025	11,470	1,307	1,362	1,299
995	12,766	13,211	12,678	1,308	1,353	1,299

Таблиця 5

Максимальні значення зусиль у підйимальному канаті та коефіцієнти динамічності зусиль для режиму руху вниз

m_c , кг	Значення прискорень, зусиль та коефіцієнтів динамічності					
	N_{1max} , кН	N_{2max} , кН	N_{3max} , кН	$k_{1дин}$	$k_{2дин}$	$k_{3дин}$
595	7,309	8,337	7,674	1,252	1,428	1,315
700	8,902	9,691	8,888	1,296	1,411	1,294
800	9,521	11,749	10,345	1,213	1,497	1,318
900	10,952	12,917	11,954	1,240	1,463	1,354
995	11,863	13,952	12,981	1,215	1,429	1,330

Як бачимо із результатів розрахунку, найбільші динамічні зусилля у вітці підйимального каната виникають в період сповільнення кабіни у процесі її руху вниз. Коефіцієнти динамічності зусиль у цьому режимі знаходяться у межах 1,411...1,497.

Розбіжність теоретичних і експериментальних значень максимальних зусиль у підйимальному канаті ліфта під час пуску привідної системи δ_1 , сповільнення δ_2 та гальмування δ_3 кабіни зведено у табл. 6.

Таблиця 6

Розбіжність результатів теоретичного і експериментального визначення максимальних зусиль у підйимальному канаті ліфта

m_c , кг	δ_1 , %	δ_2 , %	δ_3 , %
Режим руху вгору			
595	15	13	9
700	13	12	12
800	11	11	11
900	13	11	12
995	13	11	12
Режим руху вниз			
595	12	11	12
700	15	10	11
800	9	14	13
900	11	12	15
995	9	10	13

Провівши порівняльний аналіз теоретичних і експериментальних результатів визначення максимальних зусиль у підйимальному канаті ліфта, бачимо, що розбіжність відповідних значень становить не більше 15 %.

Висновки. В процесі експериментальних досліджень неусталених режимів роботи пасажирського ліфта одержано закони зміни переміщення, швидкості та прискорення кабіни, близькі до теоретичних. На основі отриманих експериментальних результатів побудовані часові залежності кінематичних характеристик руху кабіни для режимів її переміщення вгору та вниз.

Експериментально підтверджено, що найбільшу безпеку становить різке сповільнення кабіни ліфта у процесі переміщення вниз. Коефіцієнти динамічності зусиль у підйимальному канаті в цьому режимі знаходяться у межах 1,270...1,289.

Різниця максимальних значень зусиль у підйимальному канаті ліфта, отриманих теоретичним і експериментальним шляхом, не перевищує 15 %, що свідчить про достатню для практики точність математичного моделювання динамічних процесів.

1. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. – М.: Высш. шк., 1980. – 408 с. 2. Вейц В.Л., Вербовой П.Ф., Кочура А.Е. и др. Динамика управляемого электромеханического привода с асинхронными двигателями. – К.: Наук. думка, 1988. – 272 с. 3. Горошко О.А., Савин Г.Н. Введение в механику деформируемых одномерных тел переменной длины. – К.: Наук. думка, 1971. – 224 с. 4. Остапенко В.А. Динамика волн в канатах переменной длины // Зб. наук. праць. – Полтава: ПНТУ, 2005. – № 16. – С. 216–220. 5. Павлов Н.Г. Лифты и подъемники. – М.–Л.: Машиностроение, 1965. – 204 с. 6. Писаренко Г.С. Колебания кинематически возбуждаемых механических систем с учетом диссипации энергии. – К.: Наук. думка, 1984. – 220 с. 7. Харченко Є.В., Бондарчук Б.В. Математичне моделювання гальмівних режимів роботи привідної системи пасажирського ліфта // Науковий вісник: зб. наук.-техн. пр. – Львів: НЛТУ України. – 2012. – № 22.13. – С. 294–301. 8. Харченко Є.В., Бондарчук Б.В. Математичне моделювання процесів пуску електромеханічної системи пасажирського ліфта // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Динаміка, міцність та проектування машин і приладів”. – 2012. – № 730. – С. 99–107. 9. Чабан В.И. Основы теории переходных процессов электромашиных систем. – Львов: Вища шк. 1980. – 200 с. 10. Яновски Л. Проектирование механического оборудования лифтов: монография. – 3-е изд. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 336 с.