

Валерій ПЛІС, д-р філософії

Андрій БОЙКО, д-р техн. наук, професор

Дмитро КОВАЛЬСЬКИЙ, аспірант

Владислав КРИМІНСЬКИЙ, аспірант

Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: plis.v.p@op.edu.ua

## ВПЛИВ НОМІНАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ КАБІНИ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПАСАЖИРСЬКИХ ЛІФТІВ МЕДЗАКЛАДІВ

**Анотація.** У доповіді порушується питання технічного стану пасажирських ліфтів України, які не лише застаріли морально, а й значно зношені фізично. Вказується актуальність заміни або глибокої модернізації ліфтового парку. Описуються методи підвищення ефективності роботи ліфтових електроприводів (ЕП). Проводиться дослідження впливу номінальної швидкості кабіни на продуктивність пасажирських ліфтів з урахуванням специфіки медичних установ України. В аналізі береться до уваги два можливі виконання електроприводу ліфтових лебідок та забезпечення підвищених обмежень для задоволення необхідної комфортності та безпеки перевезення пасажирів медустанов. У статті визначено рекомендовану та раціональну за продуктивністю номінальну швидкість пасажирських ліфтів, з урахуванням вихідних вимог. Визначено доцільність обмеження, у динамічних режимах, не лише прискорення, а й значення ривка, з урахуванням забезпечення підвищених медичних вимог комфортності та безпеки переміщення пасажирів. Підтверджено, що регульований електропривод пасажирських ліфтів має перевагу у швидкодії у порівнянні з традиційним черв'ячним двошвидкісним асинхронним електроприводом завдяки відсутності ділянки роботи зі зниженою швидкістю.

**Ключові слова:** пасажирський ліфт, електропривод ліфту, медичні заклади, швидкість кабіни, продуктивність ліфтів, умови комфортності

### Актуальність дослідження

У перехідний період між двома останніми століттями ліфтобудування, як і більшість технічних галузей, зазнало значного якісного стрибка завдяки досягненням у механіці, електромеханіці, електроніці. Однак саме в ці роки у країнах колишнього радянського табору розвиток технологій та економіки значно сповільнився. В результаті в нових багатоповерхових будинках, зведених з кінця 90-х років, в основному встановлювали ліфти закордонних виробників з урахуванням їх комплексного технічного обслуговування. Ці ліфти, як правило, відповідають світовим стандартам якості, і їх експлуатаційні характеристики продовжують покращуватись у міру розвитку галузі. Що стосується пасажирських ліфтів, встановлених у будинках масової забудови 70-х – початку 90-х років, у тому числі і в медичних установах, то їх технічний стан викликає серйозні побоювання. Вони не лише застаріли морально, а й значно зношені фізично. Системна заміна чи модернізація таких ліфтів практично не проводилася, що лише посилює проблему. Оскільки розрахунковий термін служби ліфта становить не більше 20–30 років, з понад 70 тисяч пасажирських ліфтів в Україні вже не менше 50...60% вичерпали цей термін. Це означає, що в середині поточного десятиліття можна очікувати масового виходу з ладу ліфтового обладнання. Вимушеним заходом стає продовження терміну експлуатації за рахунок заміни окремих вузлів, що лише закріплює технічну відсталість обладнання, не сприяючи підвищенню його якості та надійності. Таким чином, проблема ліфтів в Україні є не просто актуальною, а виходить за межі технічних та економічних питань, набуваючи соціального значення.

Головним технічним показником будь-яких структур ЕП пасажирських ліфтів є їхня продуктивність з можливістю забезпечення оптимально-комфортних та безпечних умов перевезення пасажирів на задані відстані. Не останніми також є фактори енергетичної ефективності електромеханічного перетворення енергії та масогабаритних показників ліфтових електромеханічних систем [1]. Продуктивність пасажирських ліфтів визначається кількістю пасажирів, що перевозяться за одиницю часу в одному напрямку. Вона залежить від багатьох факторів, до яких можна віднести вантажопідйомність кабіни, коефіцієнт її завантаження, час переміщення. У свою чергу, цей час залежить від висоти підйому-спуску, швидкості та прискорення кабіни, тривалості допоміжних операцій відкриття та закриття дверей, входу та виходу пасажирів, а також кількості зупинок. Досягається необхідна продуктивність: підбором номінальної швидкості руху кабіни, вибором оптимальної діаграми переміщення, встановленням групи ліфтів

замість одиночного ліфта, оптимізацією часу очікування посадки на поверсі, запровадженням зон переміщення, в яких відсутні поїздки на один або кілька поверхів [2].

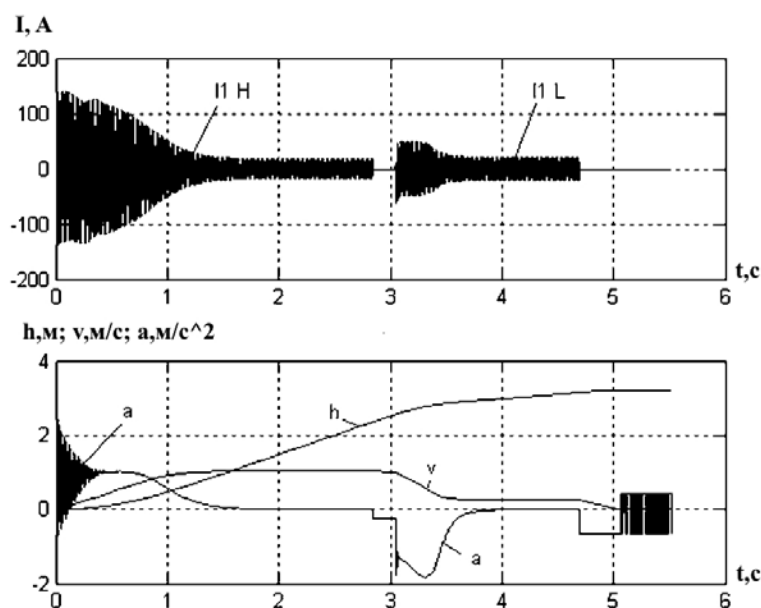
**Метою досліджень** даної роботи є аналіз впливу номінальної швидкості кабіни на продуктивність пасажирських ліфтів, встановлених у будинках медичних закладів України. Дослідження передбачає два виконання ліфтових електроприводів.

#### Основні матеріали досліджень

Для досягнення поставленої мети слід попередньо відповісти на запитання – за який час кабіна переміститься на задану кількість поверхів від початку руху до повної зупинки? Враховуємо лише кінематичні параметри – шлях, швидкість, прискорення, ривок. Припускаємо, що системи керування забезпечують умови комфортності переміщення пасажирів. За цими умовами та з урахуванням специфіки ліфтів медустанов виконуються обмеження: прискорення до  $1 \text{ м/с}^2$  та похідної прискорення – ривку до  $3 \text{ м/с}^3$ . В аналізі береться до уваги два можливі виконання електроприводу підйомної лебідки.

**1-е виконання.** Ліфтовий електропривод «традиційної конструкції» з двошвидкісним асинхронним двигуном та черв'ячним редуктором. Обмеженню прискорень і ривків для даного виконання сприяють спеціально обрана форма механічної характеристики двигуна, велика сумарна інерційність механічної частини лебідки та ротора приводного асинхронного двигуна, електромагнітна інерційність двигуна, а також пружність канатів. Потрібна точність зупинки кабіни досягається за рахунок перемикання двошвидкісного асинхронного двигуна на знижену швидкість за  $1 \dots 1,2 \text{ м}$  до місця зупинки (рис. 1). Знижена швидкість з урахуванням специфіки застосування ліфтів не повинна перевищувати  $0,25 \text{ м/с}$  [3]. Точна зупинка виконується шляхом накладання електромагнітного гальма за  $0,15 \text{ м}$  від заданого поверху. При гальмуванні на зниженій швидкості похибка зупинки не виходить за нормовані значення, незалежно від завантаження та напрямку руху кабіни. Усі процеси пуску та гальмування відбуваються з розрахунковим прискоренням, що не перевищує для ліфтів  $1 \dots 1,6 \text{ м/с}^2$ . Розрахункова форма графіка руху – трапецеїдальна двоступінчаста [4].

**2-е виконання.** Електропривод лебідки пасажирського ліфта з регульованою системою керування. Такий ЕП надає можливість точного відтворення заданої траєкторії руху кабіни та точної зупинки завдяки використанню датчиків та регуляторів координат: моменту, швидкості, величини переміщення. Точна зупинка на заданому поверсі здійснюється без додаткових операцій підходу до заданої точки (рис. 2). Рух виконується за розрахунковою траєкторією з обмеженням заданої швидкості на рівні номінальної, прискорення до  $1 \text{ м/с}^2$  та ривка до  $3 \text{ м/с}^3$ . Розрахункова форма діаграми швидкості – трапецеїдальна з обмеженням по ривку [2, 5].



**Рис. 1.** Осцилограми параметрів при підйомі кабіни ліфта на один поверх двошвидкісним асинхронним електроприводом

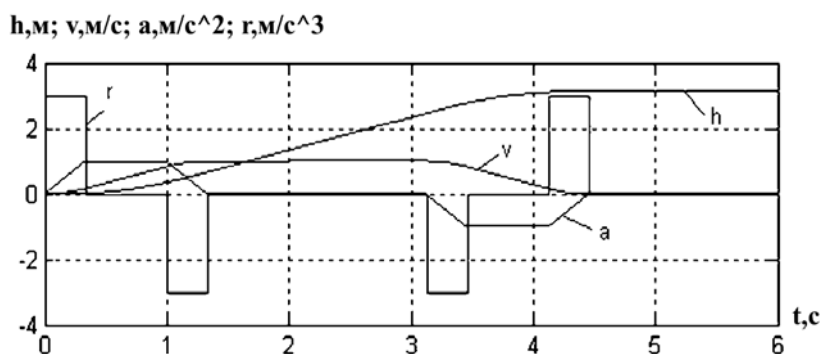


Рис. 2. Осцилограми параметрів під час переміщення кабіни регульованим електроприводом на один поверх будівлі медустанови

Для варіантів, що розглядаються, розрахункова висота поверху будівлі медустанови становить 3...3,5 м. Оцінюємо продуктивність можливих поїздок на відстань, наприклад, з 1 по 10 поверх. Для 1-го варіанту враховуємо можливі номінальні швидкості 0,71; 1,0; 1,6 м/с. Для другого варіанта – 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0 м/с [6]. Слід зазначити, що для некерованого електроприводу лебідки виконання ліфта зі швидкістю підйому кабіни 1,6 м/с і більше з урахуванням їх розміщення в медустановах бачиться досить ризикованим. Графіки величин, які ілюструють тривалість поїздки на задану кількість поверхів для обох варіантів електроприводу, в залежності від номінальної швидкості, представлені на рис. 3.

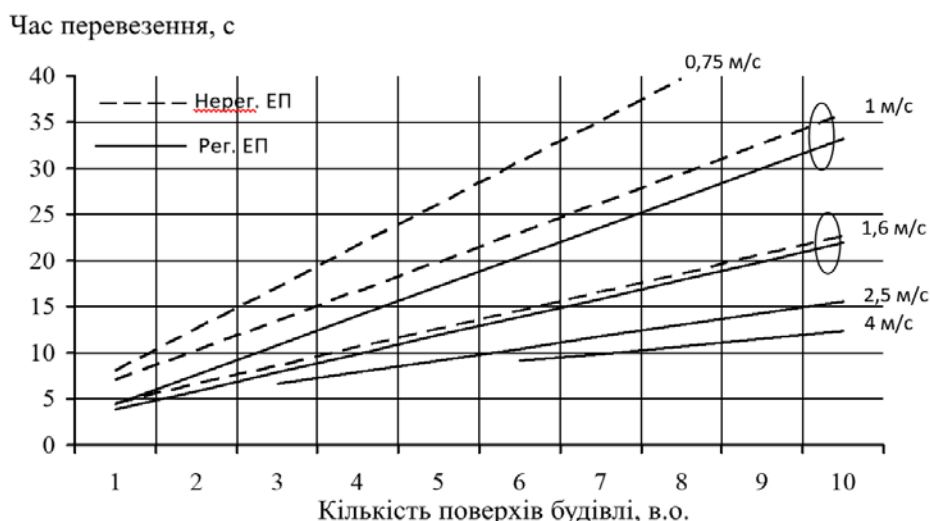


Рис. 3. Залежність часу перевезення пасажирів на задану висоту від швидкості та виконання електроприводу пасажирського ліфта

## Результати

При переміщеннях на будь-яку відстань регульований ліфтовий електропривод завжди матиме перевагу в швидкодії завдяки відсутності ділянки зі зниженою швидкістю. Так, при переміщенні на один поверх будівлі різниця становить 2,56 с для ліфта з номінальною швидкістю кабіни 1 м/с і 0,77 с для ліфта зі швидкістю 1,6 м/с [7]. Швидкодія збільшується відповідно в 1,57 та в 1,2 рази. При переміщенні кабіни на два поверхи, зі швидкістю 1 м/с це відношення становить 1,33 і навіть при переміщенні на десять поверхів дає різницю в 1,08 разу. Звичайно, з урахуванням «затягнутих» допоміжних операцій із завантаження-вивантаження пасажирів в умовах медустанов ці показники будуть дещо меншими.

Особливістю пасажирських ліфтів зі швидкістю руху кабіни 1,6 м/с і більше є те, що при зазначених обмеженнях по прискоренню та ривку, кабіна не встигає розігнатися до номінальної швидкості та загальмуватися на відстані в один поверх, тобто повна діаграма може бути відпрацьована тільки на відстані у кілька поверхів [8]. Щоб «вписати» оптимальну діаграму з номі-

нальною швидкістю 1,6 м/с на один поверх, необхідно формувати спеціальну "трикутну" форму діаграми – зменшувати значення заданої швидкості або збільшувати допустимі значення прискорення та ривка, зрозуміло, у розумних межах. При швидкості 2,5 м/с для цього потрібно 3 поверхи, при швидкості 4 м/с вже шість поверхів. Штучне зниження швидкості при поїздках на меншу кількість поверхів значно зменшує продуктивність. Рішенням реалізації оптимальної швидкодії для ліфтів медичних установ буде формування діаграми швидкості трикутної форми індивідуально для відповідної кількості поверхів. У системах управління сучасних електроприводів формування такого різноманіття заданих діаграм руху не є проблемою [9].

#### Висновки:

1. Для будівель медустанов з поверховістю до 10 поверхів раціональна за продуктивністю та умовою комфортного переміщення пасажирів, швидкість кабіни становить 1,0 – 1,6 м/с;
2. Для підвищення продуктивності ліфтів будівель великої поверховості можна використовувати експресні зони, де один ліфт обслуговує тільки першу половину поверхів, другий ліфт прямує без зупинок до другої половини поверхів і там здійснює перевезення пасажирів. У такому разі можна рекомендувати високі швидкості 2,0 – 4,0 м/с, однак при виході з експресних зон слід переходити до значно менших швидкостей або формувати індивідуальні трикутні діаграми швидкості;
3. З урахуванням переміщення специфічної категорії пасажирів медустанов у динамічних режимах слід обмежувати не лише прискорення, а й її похідну – ривок. Це підвищить продуктивність ліфтів з урахуванням забезпечення підвищених вимог комфортності та безпеки;
4. Регульований в широкому діапазоні електропривод пасажирських ліфтів має перевагу у швидкодії у порівнянні з традиційним черв'ячним двошвидкісним асинхронним електроприводом завдяки відсутності ділянки роботи зі зниженою швидкістю.

#### Література

1. Shuangchang F., Jie C., Xiaoqing C. Analysis of the hidden danger for old elevator safety. 2020 3rd International conference on electron device and mechanical engineering (ICEDME), Suzhou, China, 1–3 May 2020. 2020. P. 605–608. DOI: <https://doi.org/10.1109/icedme50972.2020.00143>.
2. Boiko A., Naidenko E., Besarab O., Bondar O. Analysis of factors affecting the energy efficiency of an elevator winch. Grabchenko's international conference on advanced manufacturing processes. InterPartner 2023: Advanced manufacturing processes V, Odessa, Ukraine, 5–8 September 2023. 2023. P. 421–431. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_39).
3. Talwandi N. S., Walia N. K. Optimising vertical mobility: using machine learning to reduce passenger wait time in elevators. 2024 IEEE International conference on computing, power and communication technologies (IC2PCT), Greater Noida, India, 9–10 February 2024. 2024. P. 1034–1048. DOI: <https://doi.org/10.1109/ic2pct60090.2024.10486445>.
4. Nguyen T. X., Miura N., Sone A. Analysis and control of compensation rope response in elevator system with time-varying length. 2019 11th Asian control conference (ASCC), Gold Coast, QLD, Australia, 17–20 December 2019. 2019. P. 905–910. DOI: <https://doi.org/10.1109/ascc.2017.8287291>.
5. Issue of energy efficiency assessment of elevators electric drives / A. O. Boyko, O. V. Naidenko, V. I. Tkach, D. I. Kovalsky. *Electrical and computer systems*. 2024. No. 41(117). P. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.41.117.2024.1>.
6. PLC controlled elevator drive system / P. Bernard, I. -D. Deaconu, S. V. Popescu, C. Ghiță, A. -S. Deaconu, A. -I. Chirilă. 2015 9th International symposium on advanced topics in electrical engineering (ATEE), Bucharest, Romania, 7–9 May 2015. 2015. P. 166–169. DOI: <https://doi.org/10.1109/atee.2015.7133775>.
7. Elevator traffic pattern recognition based on density peak clustering / C. Benyao, R. Licheng, Y. Jian, B. Jianzhong, S. Shenke, Z. Shaojun, W. Maonian. 2018 IEEE International conference of safety produce informatization (IICSPI), Chongqing, China, 10–12 December 2018. 2018. P. 587–590. DOI: <https://doi.org/10.1109/iicspi.2018.8690418>.
8. Бойко А. О. Синтез та аналіз діаграм руху ліфтових підйомних механізмів. Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць. Вип. 4 (5). Одеса: АО Бахва, 2013. С. 83–91. URL: <https://sbornik.college.ks.ua/downloads/sbornik5/pdf/14.pdf>.
9. Research on energy saving control of elevator / X. Jiang, M. Namokel, C. Hu, R. Tian, J. Dong. 2019 International conference on control, automation and information sciences (ICCAIS), Chengdu, China, 23–26 October 2019. 2019. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/iccaais46528.2019.9074551>.