

УДК 62-83:621.313

### ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТУ З ДВОШВИДКІСНИМ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

**О. А. Андрющенко, А. О. Бойко, А. В. Бібік, О. Б. Бабійчук**

Одеський національний політехнічний університет

просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна. E-mail: aoatl@mail.ru

Представлено результати дослідження якості електромеханічного перетворення енергії в механізмі пасажирського ліфту з двошвидкісним асинхронним двигуном методом математичного моделювання. Враховано змінні параметри схеми заміщення при роботі асинхронного двигуна на високій і низькій швидкостях, змінне значення коефіцієнта корисної дії редуктора, завантаженість кабіни, напрям та реальну структуру циклу руху ліфту. Наведено діаграми складових потужностей усталеного руху підйому номінального вантажу та складових енергії для циклу переміщення кабіни з різним навантаженням на один поверх. Результати моделювання підтверджуються експериментальними даними.

**Ключові слова:** ліфт, редуктор, асинхронний двигун, енергетичні діаграми.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ С ДВУХСКОРОСТНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

**О. А. Андрющенко, А. А. Бойко, А. В. Бирик, О. Б. Бабийчук**

Одесский национальный политехнический университет

просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина. E-mail: aoatl@mail.ru

Представлены результаты исследования качества электромеханического преобразования энергии в механизме пассажирского лифта с двухскоростным асинхронным двигателем методом математического моделирования. Учтены переменные параметры схемы замещения при работе асинхронного двигателя на высокой и низкой скоростях, переменное значение коэффициента полезного действия редуктора, загрузка кабины, направление и реальная структура цикла движения лифта. Приведены диаграммы составляющих мощностей установившегося движения подъема номинального груза и составляющих энергии для цикла перемещения кабины с разной загрузкой на один этаж. Результаты моделирования подтверждаются экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** лифт, редуктор, асинхронный двигатель, энергетические диаграммы.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Сучасним актуальним напрямом розвитку електромеханіки є перехід від некерованих до керованих автоматизованих систем, що забезпечують значне поліпшення динамічних та енергетичних показників електроприводу та механізму. У галузі пасажирських ліфтів це заміна некерованих асинхронних електроприводів з двошвидкісними двигунами частотно керованими електроприводами з одношвидкісними двигунами, а також впровадження безредукторних лебідок з низькошвидкісними приводними двигунами. Головними техніко-економічними показниками при обґрунтуванні технічних рішень з різних систем електроприводу ліфтів є здатність забезпечити оптимальні комфортні умови перевезення пасажирів, енергетична ефективність та масо-габаритні показники.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Важливішим з названих показників є енергетична ефективність, або якість електромеханічного перетворення енергії, причому як базові для співставлення доречно брати показники найбільш розповсюджених зараз електроприводів з двошвидкісними двигунами. Попередня оцінка енергетичної ефективності конкуруючих систем електроприводів надана в [1, 2]. Природно, що двошвидкісний електропривод має найнижчі показники. Так, ККД перетворення енергії в усталеному режимі при підйомі номінального вантажу оцінюється у 61 %, а усереднений ККД процесу пуску – 16 %.

У роботі розглядаються енергетичні показники режимів електромеханічної системи пасажирського ліфту, обчислені більш детально з використанням математичних моделей узагальненої електричної машини зі змінними параметрами та механічної передачі зі змінним значенням ККД, яке залежить від завантаження механізму. При моделюванні враховувались параметри механічної та електричної частин ліфту та реальна структура циклу роботи від початку руху до накладення електромагнітного гальма. Моделювання процесів виконувалось з використанням блоків бібліотеки Simulink середовища Matlab. Головними параметрами, які характеризують електромеханічну систему, прийнято наступні.

*Загальна характеристика ліфту.* Ліфт вантажно-пасажирський, встановлений у десятиповерховому навчальному корпусі з висотою поверху 3,3 м, номінальна швидкість 1 м/с, вантажопідйомність 500 кг, маса кабіни 1250 кг, маса противаги 1500 кг.

*Механічна передача.* Черв'ячний глобоїдний редуктор з передаточним числом 45, номінальна вихідна потужність 5 кВт, номінальний ККД 63 %, діаметр канатоведучого шківу 0,93 м, чотири гілки тягових канатів діаметром 12 мм.

*Приводний двигун.* Асинхронний двошвидкісний, тип АС 92-6/24; потужність 7,1/1,8 кВт; номінальна швидкість 975/205 об/хв; номінальний струм 17,1/16,3 А; ККД 0,85/0,42; коефіцієнт потужності 0,85/0,4. Між редуктором та приводним двигуном

встановлено електромагнітне гальмо з моментом до 100 Н·м.

Спрощена структура моделі зображена на рис. 1. У блоці джерела живлення (ДЖ), у залежності від напрямку руху, змінюється порядок фаз трифазної напруги, що дозволяє змінювати напрям руху кабіни. Двигун представлений двома незалежними моделями: для високої швидкості АД<sub>ВШ</sub> та низької швидкості АД<sub>НШ</sub>, що описано у нерухомій системі координат  $\alpha\beta$ . Вихідні моменти моделей двигунів та момент електромагнітного гальма (ЕМГ) подаються на механічну частину системи МЕХ. На виході системи отримуємо переміщення  $h$ , швидкість  $v$  та прискорення  $a$ , приведені до кабіни ліфту. В структурі моделі також передбачені блоки керування роботою окремих частин моделі згідно із струк-

турою циклу переміщення, а також блоки вимірювання електричних та механічних величин.

На рис. 2 зображено осцилограму процесу переміщення кабіни з номінальним вантажем при підйомі на один поверх.

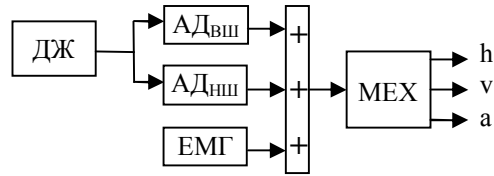


Рисунок 1 – Спрощена структура моделі електромеханічної системи ліфту

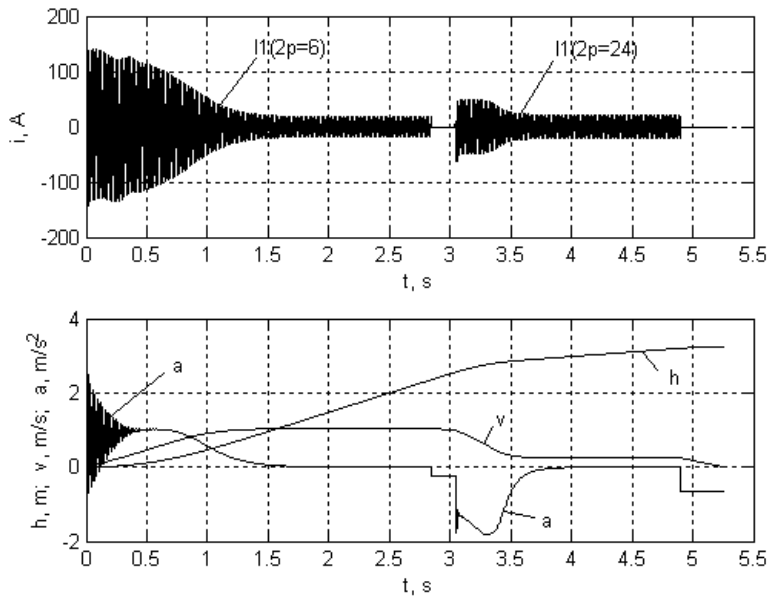


Рисунок 2 – Осцилограма процесу переміщення кабіни з номінальним вантажем на один поверх

На осцилограмі відображені фазні струми обмоток високої та низької швидкості, а також шлях, швидкість та прискорення кабіни. Керування зміною режимів виконується у функції шляху. Переключення на обмотку низької швидкості відбувається за 1 м до місця зупинки, відключення двигуна й накладення електромагнітного гальма за 0,15 м від місця зупинки.

Для аналізу енергетичних показників проводились вимірювання миттєвих потужностей та енергії, як інтегралів потужностей на заданому інтервалі часу. Тут укажемо тільки вирази потужностей.

*Механічні величини:*

- потужність на валу приводного двигуна  $P = M \cdot \omega$ , а також її складові:
- корисна потужність на валу канатоведучого шківу з подолання статичного моменту вантажу  $P_c = M_c \cdot \omega_{кш}$ ;
- потужність з подолання динамічного моменту частин ліфту, що рухаються поступально, та канатоведучого шківу  $P_{дін к,п,в,кш} = M_{дін к,п,в,кш} \cdot \omega_{кш}$ ;

- потужність з подолання динамічного моменту частин ліфту, що рухаються обертально на валу двигуна (ротор двигуна, редуктор, шків електромагнітного гальма)  $P_{дін дв,ред,емг} = M_{дін дв,ред,емг} \cdot \omega$ ;

- втрати потужності на тертя у механізмі ліфту, приведені до валу канатоведучого шківу  $\Delta P_{тр} = M_{тр} \cdot \omega_{кш}$ . У загальному моменті тертя враховані постійні сили тертя кабіни та направляючих, постійна та змінна складові втрат у редукторі.

*Електричні величини:*

- активна потужність, що споживається від мережі  $P_1 = \frac{3}{2}(u_{1\alpha}i_{1\alpha} + u_{1\beta}i_{1\beta})$ , а також її складові:
  - втрати потужності в обмотках високої та низької швидкості статора  $\Delta E_{i1} = \frac{3}{2}(i_{1\alpha}^2 + i_{1\beta}^2)R_1$  та ротору  $\Delta E_{i2} = \frac{3}{2}(i_{2\alpha}^2 + i_{2\beta}^2)R_2$ ;
  - втрати потужності в сталі  $\Delta P_{ст} = \Delta P_{стн} \cdot \frac{I_0^2}{I_{0н}^2}$ ,
- де  $\Delta P_{стн}$  – номінальні втрати в сталі,  $I_0^2; I_{0н}^2$  – квад-

рати амплітуд біжучого струму намагнічення та струму намагнічення в номінальному режимі.

Вказані величини потужностей та, відповідно, обсяги енергії дозволяють проводити детальні дослідження енергетичної ефективності як ліфта в цілому, так і його окремих частин.

Уточнені величини ККД, що відзначені на початку роботи, виявились значно нижчими. Так, для режиму підйому номінального вантажу ККД становить 44,5 %, а для процесу пуску – 9,1 %.

Енергетичні діаграми усталеного режиму роботи на обмотках високої і низької швидкостей при номінальній масі вантажу та за поїздки на один поверх при різній завантаженості кабіни зображені на рис. 3.

В усталеному режимі (рис. 3,а) більшу частину споживаної потужності складають втрати у двигуні та на тертя. Вони завжди перевищують корисну потужність із переміщення вантажу. Причому втрати на тертя на низькій швидкості зменшуються порівняно з високою швидкістю, а втрати у двигуні, незважаючи на зменшену механічну потужність, знач-

но зростають. Зважаючи на досить тривалу ділянку роботи на зниженій швидкості, ці втрати негативно впливають на загальну енергетичну ефективність. Завдяки значним втратам у двигуні та на тертя, у жодному випадку завантаженості кабіни в усталених режимах не мають місця генерації електричної енергії всупереч традиційним уявленням.

Узагальнююча картина енергетичної ефективності надана для циклу підйому кабіни на один поверх при трьох значеннях завантаження: 500 кг; 250 кг та порожньої кабіни (рис. 3,б). При спуску кабіни результати практично ті ж самі, але треба замінити показники для 500 кг та порожньої кабіни. Необхідно звернути увагу на те, що має місце незначна за тривалістю та величиною ділянка генерування енергії в мережу при переході на знижену швидкість, яка практично не впливає на загальний обсяг енергії, що споживана. При підйомі порожньої кабіни енергія статичних сил тяжіння є генеруючою, але вона не перевищує загальну енергію втрат у двигуні та на тертя.

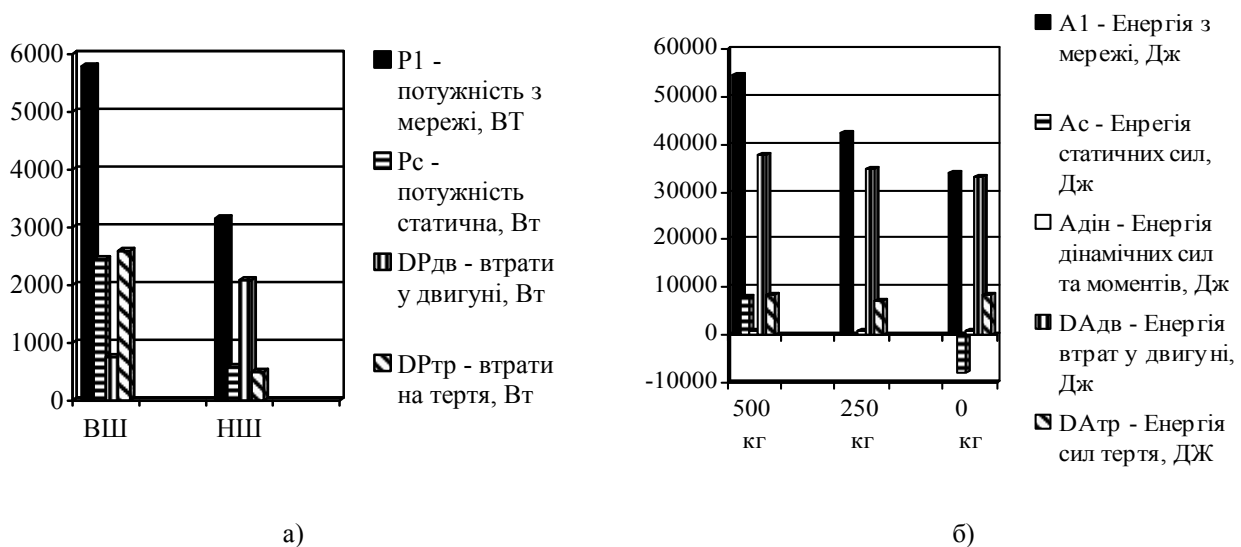


Рисунок 3 – Енергетичні діаграми електромеханічної системи ліфта: а) в усталеному режимі; б) у режимі поїздки на один поверх

Особливістю енергетичної діаграми динамічного режиму є невеликі, майже непомітні на графіку, значення енергії динамічних сил та моментів. Це пояснюється тим, що в циклі пуск–гальмування кінетична енергія на ділянці пуску накопичується, а на ділянці гальмування віддається, компенсуючи частину втрат. Принципово ця енергія за цикл повинна бути нульовою, але вона відрізняється від нуля, оскільки остаточна зупинка відбувається під дією електромагнітного гальма. Проте втрати енергії в двигуні від дії динамічних моментів проявляються повною мірою. Так, при різних завантаженнях кабіни енергія втрат у двигуні становить від 69 до 95 % від енергії, що споживана з мережі. Ділянка циклу

від відключення обмотки низької швидкості до зупинки під дією електромагнітного гальма моделюється, але цей процес є суто механічним і в загальному балансі енергії не враховується.

Головні положення роботи підтверджені експериментальними дослідженнями на прикладі підйому на один поверх кабіни з вантажем 65 кг (один оператор). Якщо за базу взяти експериментальні дані, то похибка у максимальних струмах становить для обмотки високої швидкості +3,25 %, для обмотки низької швидкості – 8,3 %. Для усталеного режиму підйому похибка струму обмотки високої швидкості становить – 1,26 %, обмотки низької швидкості – +1,65 %. Енергія, споживана з мережі при моделю-

ванні, становить 36220 Дж, в експерименті 13012 Дж на одну фазу, тобто похибка – 7,13 %.

**ВИСНОВКИ.** 1. Розроблені схема моделі й методика оцінки енергетичних показників електромеханічної системи ліфту з двошвидкісним асинхронним двигуном перевірені експериментально й можуть слугувати як достовірна база для розрахунків динамічних та енергетичних показників при обґрунтуванні модернізації або заміни існуючого парку пасажирських ліфтів.

2. Електропривод пасажирського ліфту з двошвидкісним асинхронним двигуном та черв'ячним редуктором є прикладом неефективного перетворення як електричної, так і механічної енергії.

3. Завдяки великим втратам енергії при будь-якому завантаженні кабіни відсутня рекуперація енергії в мережу в циклі перевезення пасажирів, а незначні за тривалістю та обсягом ділянки генерації при переході на знижену швидкість не впливають суттєво на енергетичну діаграму.

4. В усталених режимах роботи найбільші втрати потужності припадають на механічні втрати в редукторі. В динамічних режимах пуску та гальму-

вання найбільші втрати енергії відбуваються у приводному двошвидкісному двигуні.

5. Недосконалий спосіб точної зупинки шляхом переходу до зниженої швидкості призводить до існування досить тривалої ділянки підходу до заданого поверху, що значно знижує енергетичні показники та продуктивність ліфту.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Андрищенко О.А., Булгар В.В., Семенюк В.Ф. Пассажирский лифт как электромеханическая система. Перспективы и проблемы совершенствования энергетических показателей // Научно-технический и производственный журнал «Подъемные сооружения. Специальная техника». – 2010. – № 2. – С. 23–28.

2. Андрищенко О.А., Бойко А.О. Повышение технического уровня пассажирских лифтов Украины, эволюция или революция? // Экономист. – 2011. – № 8. – С. 75–79.

#### POWER PARAMETERS THE ELECTRIC DRIVE OF THE PASSENGER LIFT WITH THE TWO-HIGH-SPEED ASYNCHRONOUS MOTOR

**O. Andriushchenko, A. Boyko, A. Bibik, O. Babychuk**

Odesa National Polytechnic University

prosp. Shevchenka, 1, Odesa, 65044, Ukraine. E-mail: aoatl@mail.ru

The results of quality research of energy electromechanical transformation in the mechanism of the passenger lift with the two-high-speed asynchronous motor by a method of mathematical modeling are submitted. The variable parameters of an equivalent circuit are taken into account at job of the asynchronous motor on high and low speeds, variable meaning of a reducer efficiency, load of a cabin, direction and real structure of a motion cycle of the lift. The power diagrams of the rise established movement of a nominal cargo and the power diagrams for a moving cycle of a cabin with different loading on one floor are given. The results of modeling prove to be true by experimental data.

**Key words:** lift, reducer, asynchronous motor, power diagrams.

#### REFERENCES

1. Andriushenko O.A., Bulgar V.V., Semeniuk V.F. Passenger lift as an electromechanical system. Perspectives and challenges of improving energy performance // Scientific and technical and industrial journal "Lifting facilities. Special vehicles". – 2010. – № 2. – PP. 23–28. [in Russian]

2. Andriushenko O.A., Boyko A.A. Raising the technical level of passenger elevators in Ukraine, evolution or revolution? // The Economist. – 2011. – № 8. – PP. 75–79. [in Russian]

Стаття надійшла 9.07.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.