

## ANALYSIS OF ENERGETIC INDICES OF TRADITIONAL GEARED ELEVATING MECHANISM WITH TWO-SPEED ASYNCHRONOUS MOTOR FOR PASSENGER LIFTS

Boyko A.

*Odessa National Polytechnic University*

**Abstract.** In article the technique of the mathematical description and researches of the two-speed asynchronous electric drive for the passenger lift of a traditional design is offered. The mathematical model is presented and its elements are described. The attention is paid to nonlinearities of the two-speed asynchronous electric drive and to detailed analysis of its energetic indices. The results of research of electromechanical transformation in the mechanism of the passenger lift with the two - speed asynchronous motor by a method of mathematical modeling are submitted. At researches are taken into account: variable parameters of an equivalent circuit of the asynchronous motor at work on high and low speeds, variable value of a worm gear reducer efficiency, load of a cabin, direction and real structure of a motion cycle of the lift, which moved under the optimum diagram. The results of modeling are checked up and are confirmed experimentally on the working passenger lift.

**Keywords:** Passenger lift, reducer, two-speed asynchronous electric drive, efficiency, modeling, energetic parameters.

### ANALIZA PARAMETRILOR ENERGETICI A MECANISMULUI DE RIDICARE TRADIȚIONAL CU REDUCTOR A ASCENSORULUI PENTRU PASAJERI DOTAT CU UN MOTOR ASINCRON CU DOUĂ VITEZE

Boico A.O.

*Universitatea Națională Politehnică din Odesa*

**Rezumat.** În lucrarea se propune metodă de descriere matematică și cercetare a acționărilor electrice a ascensorului de pasageri cu motor asincron cu două viteze. S-a acordat o atenție deosebită problemei descrierii parametrilor neliniari ai motorului electric asincron și analizei detaliate a parametrilor ce caracterizează eficiența energetică. Se prezintă modelul matematic cu descrierea elementelor ei funcționale. În baza simlărilor matematice se prezintă rezultatele cercetării calității conversiei electromecanice a energiei în mecanismul de ridicare a ascensorului pentru pasageri cu motor asincron cu două viteze. În cadrul investigației s-au luat în considerare parametrii schemei echivalente în regimurile de funcționare a motorului a viteză ridicată și viteză joasă, devierea valorii randamentului reductorului cu melc, încărcarea cabinei ascensorului, direcția și structura reală a ciclului de mișcare a ascensorului în cadrul diagramei optime de funcționare. Rezultatele simulărilor au fost verificate și s-au confirmat în cadrul testărilor experimentale a unui ascensor pentru pasageri.

**Cuvinte-cheie:** Ascensor de persoane, reductor, motor electric asincron cu două viteze, randamentul, modelare, indicii energetice.

### АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАДИЦИОННОГО РЕДУКТОРНОГО ПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА ПАСАЖИРСКОГО ЛИФТА С ДВУХСКОРОСТНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Бойко А.О.

*Одесский национальный политехнический университет*

**Аннотация.** В статье предложена методика математического описания и исследования двухскоростного асинхронного электропривода пассажирского лифта. Уделено внимание описанию нелинейных параметров асинхронного электрического двигателя и детальному анализу его энергетики. Приведена математическая модель и описаны ее элементы. Представлены результаты исследования качества электромеханического преобразования энергии в механизме подъема пассажирского лифта с двухскоростным асинхронным двигателем методом математического моделирования. При исследованиях учтены переменные параметры схемы замещения при работе двигателя на высокой и на низкой скоростях, переменное значение коэффициента полезного действия червячного редуктора, параметры загрузки кабины, направление и реальная структура цикла движения лифта по оптимальной диаграмме. Результаты моделирования проверены и подтверждены экспериментально на действующем пассажирском лифте.

**Ключевые слова:** Пассажирский лифт, редуктор, двухскоростной асинхронный электрический двигатель, КПД, моделирование, энергетические показатели.

### **Введение.**

Главными технико-экономическими показателями при обосновании технических решений различных систем лифтовых электроприводов - это способность обеспечить оптимальные комфортные условия перевозки пассажиров, энергетическая эффективность и массогабаритные показатели [1]. Современным и актуальным направлением развития электромеханики является переход от неуправляемых автоматизированных систем к управляемым, которые обеспечивают значительное улучшение динамических и энергетических показателей электропривода и механизма. В области пассажирских лифтов - это замена неуправляемых асинхронных электроприводов с двухскоростными двигателями на частотно управляемые электроприводы с односкоростными двигателями, а также внедрение безредукторных лебедок с тихоходными приводными двигателями [2,3]. Тем не менее, изучение традиционных лифтовых электроприводов с двухскоростными асинхронными двигателями (АД) и червячными редукторами, не потеряли актуальности, ввиду массовости их применения (в Украине на 2013 год более 400 тыс.). Анализ их показателей необходим для поиска путей модернизации, а так же для расчета технико - экономической эффективности других альтернативных вариантов электроприводов, при этом традиционная лифтовая электромеханическая система используется в качестве базовой [2,4].

В настоящей работе рассмотрены энергетические диаграммы для некоторых режимов работы традиционной электромеханической системы пассажирского лифта, рассчитанные с использованием математических моделей асинхронной электрической машины с переменными параметрами и механической передачи с переменным значением коэффициента полезного действия (КПД), зависящего от текущей загрузки подъемного механизма. При моделировании детально учитывались параметры механической и электрической частей лифта, а так же реальная структура цикла работы от начала движения до наложения электромагнитного тормоза. Моделирование процессов выполнено с применением библиотеки «Simulink» среды «Matlab». Результаты моделирования проверены и подтверждены экспериментально на действующем пассажирском лифте [5]. Основными параметрами, характеризующие электромеханическую систему, приняты:

*Общая характеристика лифта.* Пассажирский лифт, установлен в 10-ти этажном здании с высотой этажа 3,2 м, номинальная скорость 1м/с, грузоподъемность 500 кг, масса кабины 1250 кг, масса противовеса 1500 кг.

*Механическая передача.* Червячный глобоидный редуктор РГЛ-180-47. Передаточное число 47, номинальная исходная мощность 5 кВт, номинальный ККД 63%, диаметр канатоведущего шкива 0,93 м, четыре ветви тяговых канатов диаметром 12 мм.

*Приводной двигатель.* Асинхронный двухскоростной АСС 92-6/24; мощность 7,1/1,8 кВт; номинальная скорость 975/205 об/мин; номинальный ток 17,1/16,3 А; КПД 0,85/0,42; коэффициент мощности 0,85/0,4. Между редуктором и приводным двигателем установлен электромагнитный тормоз с моментом 100 Нм.

Моделирование асинхронного двигателя выполняется на основе известной теории обобщенной машины в неподвижных координатах  $\alpha, \beta, 0$  [6].

Уравнения питающего напряжения, записываются

$$U_{1\alpha} = U_{1m} \cos(\omega_0 t) \quad (1)$$

$$U_{1\beta} = U_{1m} \sin(\omega_0 t)$$

Уравнение равновесия напряжений статора и ротора

$$\begin{aligned}
 U_{1\alpha} &= i_{1\alpha} R_1 + \frac{d\psi_{1\alpha}}{dt}, \\
 U_{1\beta} &= i_{1\beta} R_1 + \frac{d\psi_{1\beta}}{dt}, \\
 0 &= i_{2\alpha} R_2 + \frac{d\psi_{2\alpha}}{dt} + \omega \psi_{2\beta}, \\
 0 &= i_{2\beta} R_2 + \frac{d\psi_{2\beta}}{dt} + \omega \psi_{2\alpha}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Уравнение потокосцеплений

$$\begin{aligned}
 \Psi_{1\alpha} &= i_{1\alpha} \frac{x_s}{\omega_0} + i_{2\alpha} \frac{x_0}{\omega_0}, \\
 \Psi_{1\beta} &= i_{1\beta} \frac{x_s}{\omega_0} + i_{2\beta} \frac{x_0}{\omega_0}, \\
 \Psi_{2\alpha} &= i_{2\alpha} \frac{x_r}{\omega_0} + i_{1\alpha} \frac{x_0}{\omega_0}, \\
 \Psi_{2\beta} &= i_{2\beta} \frac{x_r}{\omega_0} + i_{1\beta} \frac{x_0}{\omega_0},
 \end{aligned} \tag{3}$$

Электромагнитный момент

$$M = \frac{3}{2} p \frac{x_0}{\omega_0} (i_{2\alpha} i_{1\beta} - i_{1\alpha} i_{2\beta}) \tag{4}$$

Уравнение движения

$$M - M_c = J_\Sigma \frac{d\omega_2}{dt} \frac{1}{p} \tag{5}$$

В уравнениях (1) - (5) :  $\omega_0$ ,  $\omega$ ,  $\omega_2$  угловые скорости, электромагнитного поля, электрическая ротора, механическая ротора, соответственно;  $x_s = x_1 + x_0$  - полное индуктивное сопротивление статора,  $x_r = x_2 + x_0$  - полное индуктивное сопротивление ротора,  $p$  - число пар полюсов АД.

На рис. 1 представлена схема базовой модели асинхронного двигателя согласно приведенным уравнениям. Все переменные параметры, выбранные в качестве расчетных, обозначены дополнительным индексом "r". Дополнительно в модель введены блоки измерения и блоки, реализующие нелинейности параметров АД:  $X_0$  – индуктивного сопротивления контура намагничивания, как функции тока намагничивания;  $X_1$ ;  $X_2$  – индуктивных сопротивлений рассеяния обмоток статора и

ротора, как функции тока статора;  $R_2$  – активного сопротивления ротора, как функции скольжения.

При настройке блоков нелинейностей необходимо учитывать, что при работе модели, с большей степенью вероятности, реализуется, так называемая, "алгебраическая петля", когда числовое решение системы дифференциальных уравнений невозможно [7]. Для недопущения этого явления, в контуры, которые моделируют нелинейности АД, вводятся блоки задержки сигналов «Transport Delay» с шагом задержки, согласно шагу интегрирования [5].

При моделировании двухскоростного двигателя моделируются одновременно и независимо две модели, аналогичные изображенной на рис. 1, с параметрами, соответствующими каждой из обмоток АД. Упрощенная блок-схема модели двухскоростного асинхронного электропривода показана на рис. 2.

Блок «Source U» является источником напряжения для каждой из обмоток АД, которые в модели представлены блоками «Subsystem 1» и «Subsystem 2» (рис. 1). Входы «In1» этих блоков - управляющие. Поскольку между обмотками высокой и низкой скорости нет электромагнитной связи, то управление отдельными обмотками можно свести к разрешению или запрету работы интеграторов, которые реализуют решение уравнения (2). При отсутствии сигнала на входе соответствующего интегратора, он начинает работу. При поступлении на этот вход напряжения управления, например 10 В, интегратор перестает работать, а на его выходе устанавливаются нулевые начальные условия. Управление обмотками двигателя выполняется в функции перемещения кабины лифта (сигнал  $h_k$  блока «From 30») с помощью блоков «Relay1» - «Relay3». В начале работы существует разрешение на интегрирование уравнений (3) для обмотки высокой скорости, и запрет работы обмотки низкой скорости. Воспроизводится процесс пуска и работы в установившемся режиме. При подходе кабины к заданному этажу на расстояние от 1 до 1,5 м отключается обмотка высокой скорости и, с выдержкой времени на переключение контакторов, включается обмотка низкой скорости. При этом моделируется режим динамического торможения и работы на пониженной скорости. При подходе кабины на расстояние 0,1 – 0,2 м обмотка низкой скорости отключается и на вал двигателя накладывается электромагнитный тормоз. Момент электромагнитного тормоза «Memt» моделируется как момент реактивного характера. Моменты двигателя от обмоток большой скорости «Mhs» и малой скорости «Mls» подаются на вход блока «Speed», который моделирует механизм подъема лифта. На выходе этого блока формируются механическая скорость и ее производная, а также электрические скорости для моделей высокой и низкой скоростей АД.

На рис. 3 представлена осциллограмма процесса перемещения кабины с номинальным грузом при подъеме на один этаж [8]. На осциллограмме показаны: фазные токи обмоток высокой и низкой скорости, (а); моменты и скорость двигателя (б); путь, скорость и ускорения кабины (в). Управление изменением режимов выполняется в функции пути. Переключение на обмотку низкой скорости происходит за 1 м до места остановки, отключение двигателя и наложение электромагнитного тормоза за 0,1 м до места остановки.

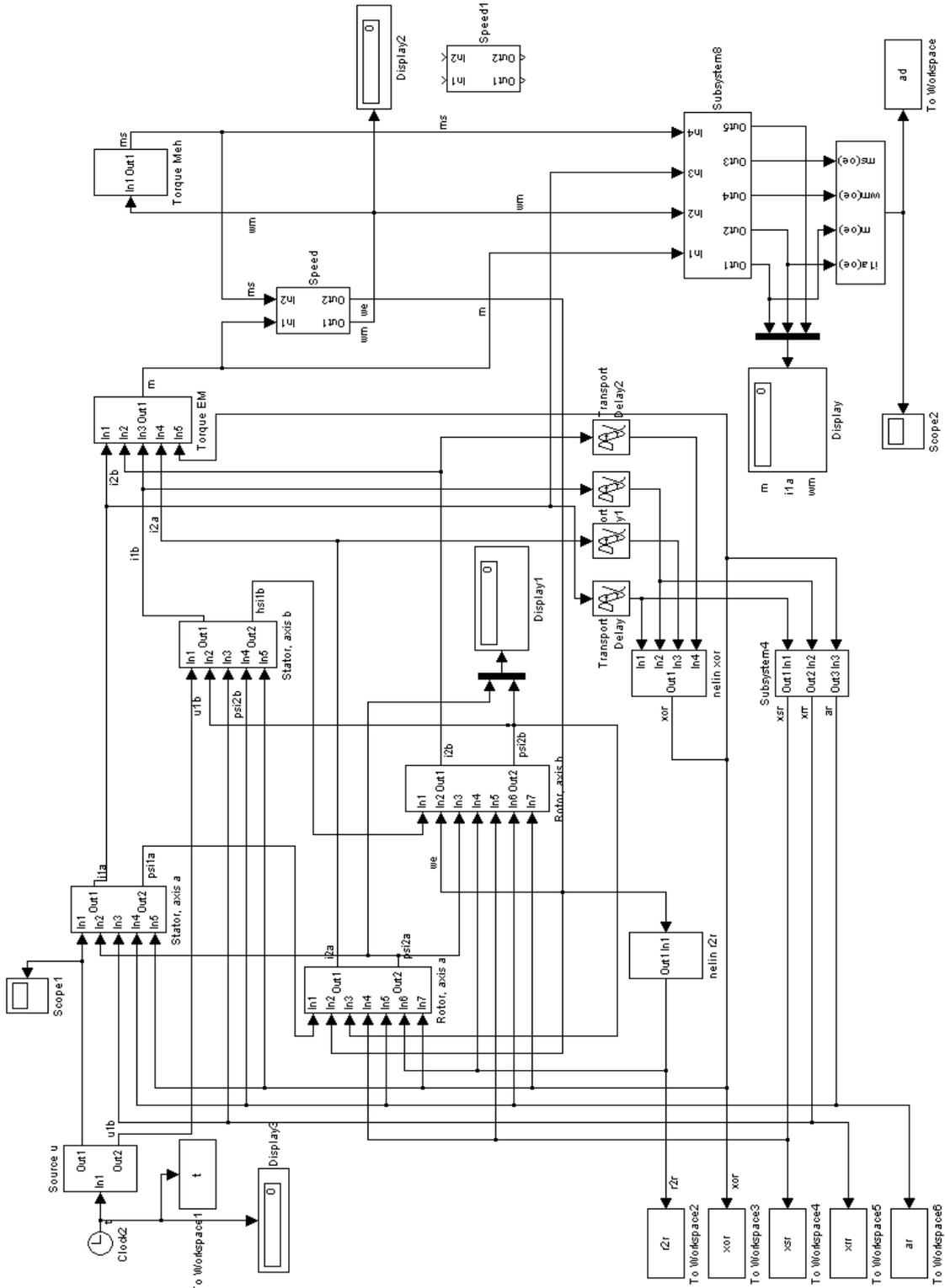


Рис. 1. Схема модели асинхронного двигателя

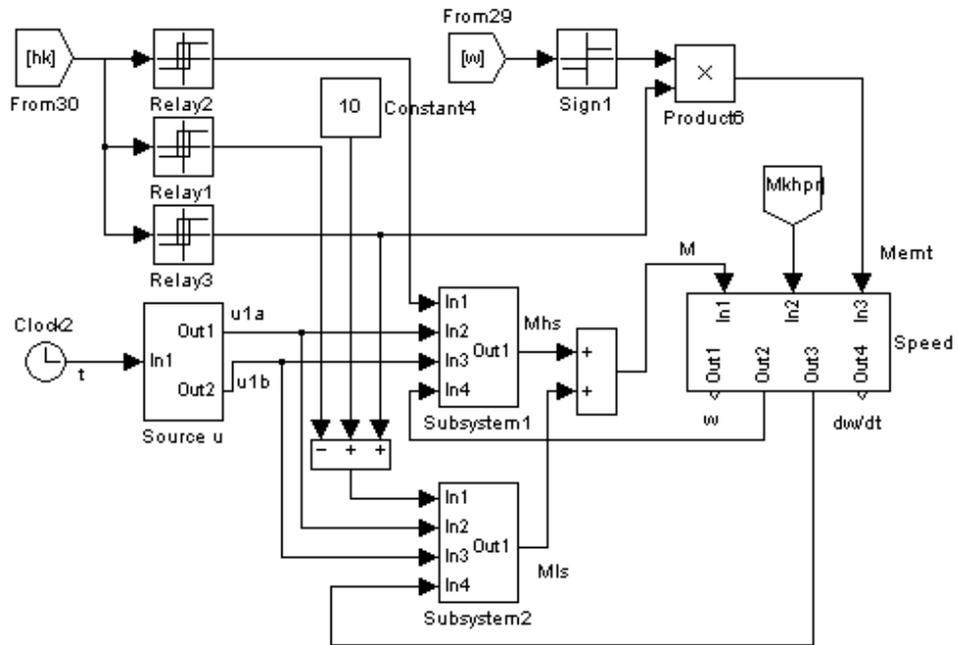


Рис. 2. Упрощенная схема модели двухскоростного асинхронного электропривода пассажирского лифта

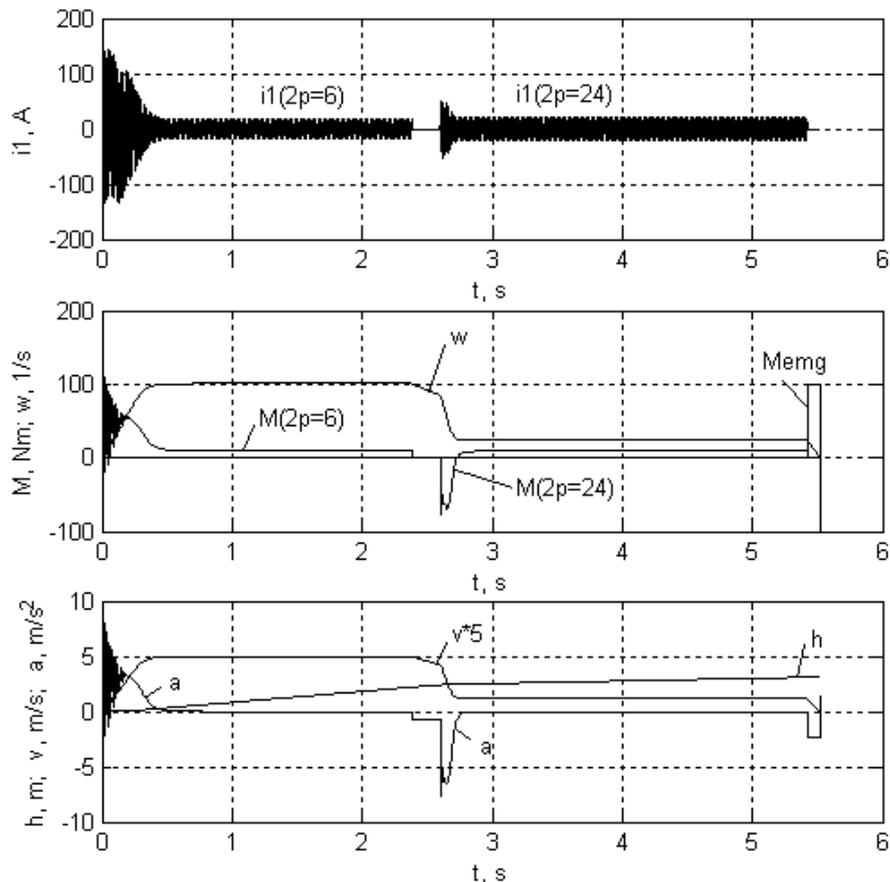


Рис. 3. Осциллограмма процесса перемещения кабины с номинальным грузом на один этаж

Для анализа энергетических показателей проводилось измерение мгновенных мощностей и интегралов мощностей, что позволило проводить детальное исследование энергетической эффективности, как лифта в целом, так и его отдельных составляющих [9].

*Механические величины:*

- мощность на валу приводного двигателя  $P = M \cdot \omega$ , а также ее составляющие:
- полезная мощность на валу канатоведущего шкива, определяемая статическим моментом нагрузки  $P_c = M_c \cdot \omega_{ksh}$ ;
- мощность, определяемая динамическими моментами элементов механизма подъема, движущихся поступательно (кабина, противовес, груз)  $P_{din k,p,g} = M_{din k,p,g} \cdot \omega_{ksh}$ ;
- мощность, определяемая динамическими моментами элементов механизма подъема, движущихся вращательно (ротор двигателя, редуктор, шкив электромагнитного тормоза)  $P_{din dv,red,emg} = M_{din dv,red,emg} \cdot \omega$ ;
- потери мощности на трение в механизме подъема, приведенные к валу канатоведущего шкива  $\Delta P_{тр} = M_{тр} \cdot \omega_{ksh}$ . В общем моменте трения учтены постоянные силы трения кабины и направляющих, постоянная и переменная составляющие потерь в редукторе.

*Электрические величины:*

- активная мощность, потребляемая из сети  $P_1 = \frac{3}{2}(u_{1\alpha}i_{1\alpha} + u_{1\beta}i_{1\beta})$ , а также ее составляющие:
- потери мощности в обмотках высокой и низкой скорости статора  $\Delta P_{M1} = \frac{3}{2}(i_{1\alpha}^2 + i_{1\beta}^2) \cdot R_1$  и ротора  $\Delta P_{M2} = \frac{3}{2}(i_{2\alpha}^2 + i_{2\beta}^2) \cdot R_2$ ;

потери мощности в стали  $\Delta P_{ст} = \Delta P_{стн} \cdot \frac{I_0^2}{I_{0н}^2}$ , где  $\Delta P_{стн}$  - номинальные потери в

стали,  $I_0^2; I_{0н}^2$  - квадраты амплитуд текущего тока намагничивания и тока намагничивания в номинальном режиме.

Энергетические диаграммы электромеханической системы пассажирского лифта при номинальной массе груза и за поездку на один этаж при разной загруженности кабины представлены на рис. 4.

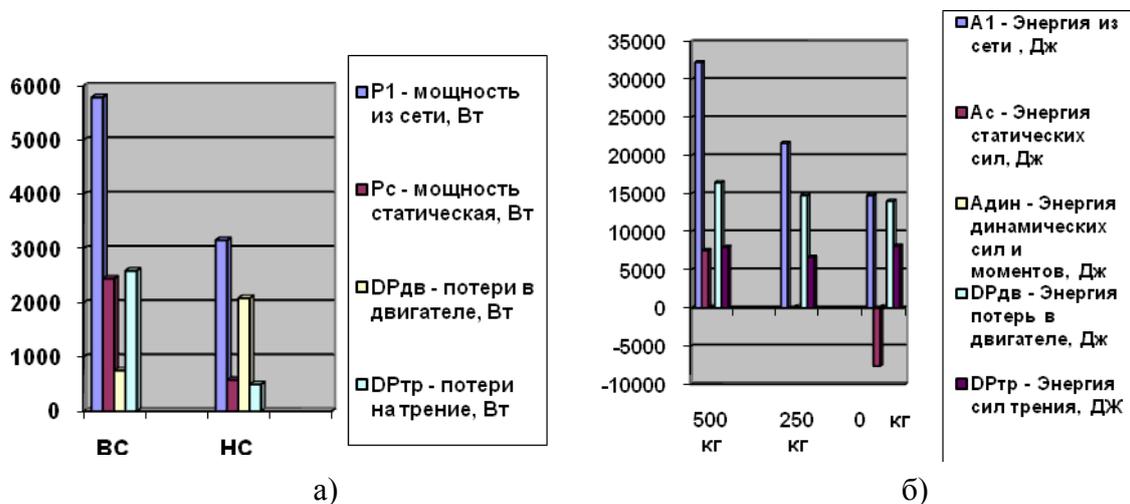


Рис. 4. Энергетические диаграммы электромеханической системы лифта в установившемся (а) и в динамических (б) режимах

В установившемся режиме работы, рис. 4,а большую часть потребляемой мощности составляют потери в приводном двигателе и на трение. Причем потери на трение на низкой скорости уменьшаются, в сравнении с потерями на высокой скорости, а потери в двигателе, несмотря на уменьшение механической мощности, значительно возрастают. Принимая во внимание достаточную продолжительность участка работы на пониженной скорости, эти потери отрицательно влияют на общую энергетическую эффективность подъемного механизма. Благодаря значительным потерям в двигателе и на трение, ни в одном из установившихся режимов работы не наступает длительный режим генерации электрической энергии, в противоречие существующим представлениям [1,11]. Уточненные величины КПД исследуемой электромеханической лифтовой системы, оказались ниже декларируемых (значения в скобках) [10]. Так, для режима подъема номинального груза, КПД составил не более 42,4% (61%), а для случая пуска - 8,2% (16%).

Обобщенная картина энергетической эффективности представлена для цикла подъема кабины на один этаж при трех значениях загрузки: 500 кг; 250 кг и пустой кабины, рис. 4,б. Следует обратить внимание на то, что существует незначительный по продолжительности и величине участок генерирования энергии в сеть, при переходе на пониженную скорость АД, который, ввиду незначительной величины, практически не влияет на общую энергетическую картину. При подъеме пустой кабины энергия статических сил тяжести является генерирующей, но она не превышает сумму потерь энергии в двигателе и на трение.

Особенностью энергетических диаграмм в динамических режимах являются незначительные, практически незаметные, значения энергии динамических сил и моментов. Это объясняется тем, что в цикле пуск - торможение кинетическая энергия на участке пуска накапливается, а на участке торможения потребляется, компенсируя часть потерь. Теоретически эта энергия за цикл перемещения должна быть нулевой, но на практике она отличается от нуля, поскольку существует переменное значение КПД червячной механической передачи, которое формируется в зависимости от общей загрузки редуктора и может быть разным в моменты накопления и отдачи кинетической энергии.

## **Выводы**

1. Приведенная методика моделирования является универсальной и может применяться как инструментарий для исследования работы двухскоростных асинхронных электроприводов пассажирских лифтов. Моделирование может выполняться, как с помощью комплексных программных пакетов, (например Simulink Matlab), так и на основе авторской пользовательской программы.

2. Традиционный электропривод пассажирского лифта с двухскоростным асинхронным двигателем и червячным глобоидным редуктором представляет собой пример неэффективного преобразования как электрической, так и механической энергии.

3. Благодаря большим потерям энергии, при любой загрузке кабины, отсутствует продолжительная рекуперация энергии в сеть, а незначительный по продолжительности и объему генерации участок при переходе на пониженную скорость, на энергетическую диаграмму электромеханической системы лифта существенно не влияет.

4. Несовершенный способ точной остановки путем перехода на пониженную скорость приводит к существованию довольно продолжительного участка подхода

кабины к заданному этажу, который значительно снижает энергетические показатели и производительность пассажирского лифта.

### Литература

- [1] Lifty. Uchebnik dlea vuzov / Pod obsch.red. D.P.Volkova. - M.: ASB, 1999.- 480 c. (in Russian)
- [2] Andriuschenko O.A., Boiko A.O. Povyshenie tehniceskogo urovnea passajirskih liftov Ukrainy, evolutsia ili revolutsia?/ Andriuschenko O.A. // Economist. - 2011. - №8. - С.75-79 (in Russian)
- [3] Arhangel'sky G.G. Sovremenyje tendentsii i perspektivy razvitiia liftostroenia // Stroyprofili nr.7, 2008. c. 94-96. (in Russian)
- [4] Makarov L.N. Sovremenyi electroprivod scorostnyh liftov povyshenoi comfortnosti // Electrotehnica. 2006. – Nr.5. - С. 42-46. (in Russian)
- [5] Andriuschenko O.A., Boiko A.O., Acchebash N.V. Osoblivosti matematichnogo modeliuvanea dvohshvidcostnogo asinhronogo electroprivoda pasajirscicogo liftu // Pratsi Odesicogo politehnicnogo universitetu: Naucovii ta naucovo-vorobnicii zbirnik. – Odesa, 2013, Vip. 2 (41). – s. 164 – 168. (in Ukrainian)
- [6] Copylov I.P.P. Matematicheskoe modelirovanie electriceskikh mashin. – M.: Vyssh.shc., 1987. – 248 s. (in Russian)
- [7] Bronshtein I.N., Semendeaev K.A. Spravochnic po matematice dlea ingenerov i uchaschihsea vuzov. - M.: Nauca, 1986. - 544 c. (in Russian)
- [8] Boico A.A. Sintez I analiz diagram dvijenja liftovuh podemnyh mehanizmov // Informatsiiny tehnologii v osviti, nautsi ta virobnitstvi. Zvirnic naucovih pratsi. - Vip. 4(5) - Odesa: AO Bahva, 2013. - С. 83-91. (in Ukrainian)
- [9] Kliuchev V.I. Teoria electroprivoda: Ucheb. dlea vuzov. 2-e izd. pererab. i dop. - M.: Energoatomizdat, 1998. -704 c (in Russian)
- [10] Andriuschenko O.A., Bulgar V. V., Semeniuc V. F. Passajirskii lift kak electromehanescaia sistema. Perspektivy i problemy sovershenstvovania energeticheskikh pocazatelei // Nauchno-tehnicescii i proizvodstvenyi jurnal "Poemnye soorujenia. Spetsialinaia tehnica». – Nr.2. - 2010. - С 23-28. (in Russian)
- [11] Andriuschenko O.A., Semeniuc V. F., Boiko A.O., Kniuh A.B. Sovershenstvovalie energetichescih pocazatelei lihtovyh lebedoc. Critichescii analiz mirovyh dostijenii // Nauchno-tehnicescii i proizvodstvenyi jurnal "Podiemnye soorujenia. Spetsialinaia tehnica". – Nr.11 (129). - 2012. - С. 23-29. (in Russian)

### Сведения об авторах:



**Бойко Андрей Александрович** 02.08.1977. Окончил Одесский политехнический университет в 1999 году. В 2002 году защитил диссертацию кандидата технических наук. С 2005 года – доцент. С 2010 года – директор института электромеханики и энергоменеджмента Одесского национального политехнического университета. Область научных интересов - методы исследования, разработка и модернизация электромеханических систем современных пассажирских лифтов. E-mail: [dart77@ukr.net](mailto:dart77@ukr.net)