

УДК 692.66:62-83

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТОВОГО МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА С ИНДУКТОРНЫМИ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА****Н. В. Акчебаш**Одесский национальный политехнический университет  
просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина. E-mail: 4ud8@mail.ru

Предложено использование лифтового механизма подъема с применением двухдвигательного электропривода. В качестве приводных двигателей лебедки используются инновационные индукторные бесколлекторные двигатели постоянного тока с безобмоточным ротором. Привод системы широтно-импульсный преобразователь–двигатель с трехконтурной системой подчиненного управления. Данная концепция позволяет повысить надежность и обеспечить высокую эффективность работы лифтового подъемного механизма при малых и средних нагрузках кабины. Приведен общий вид, структурная схема механической части и функциональная схема лифтового механизма подъема. Полученная математическая модель позволяет проводить исследования статических и динамических режимов работы лифтового механизма подъема. Приведены осциллограммы скорости, момента и положения, полученные при математическом моделировании и экспериментальным путем.

**Ключевые слова:** пассажирский лифт, двухдвигательный электропривод, индукторный бесколлекторный двигатель постоянного тока с безобмоточным ротором, математическое моделирование.

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДВОДВИГУНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІФТОВОГО МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ З ІНДУКТОРНИМИ БЕЗКОЛЛЕКТОРНИМИ ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ****Н. В. Акчебаш**Одеський національний політехнічний університет  
просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна. E-mail: 4ud8@mail.ru

Запропоновано використання ліфтового механізму підйому із застосуванням дводвигунового електроприводу. Як приводні двигуни лебідки використовуються інноваційні індукторні безколекторні двигуни постійного струму з безобмотковим ротором. Привод системи широтно-імпульсний перетворювач–двигун з триконтурною системою підлеглого управління. Дана концепція дозволяє підвищити надійність і забезпечити високу ефективність роботи ліфтового підйомного механізму при малих і середніх навантаженнях кабіни. Наведено загальний вигляд, структурну схему механічної частини і функціональну схему ліфтового механізму підйому. Отримана математична модель дозволяє проводити дослідження статичних і динамічних режимів роботи ліфтового механізму підйому. Наведено осцилограми швидкості, моменту й положення, отримані при математичному моделюванні й експериментальним шляхом.

**Ключові слова:** пасажирський ліфт, дводвигуновий електропривод, індукторний безколекторний двигун постійного струму з безобмоточним ротором, математичне моделювання.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** В настоящее время в лифтовых механизмах подъема широкое распространение получила система с одним двигателем. Как правило, в подобных системах используются редукторные лебедки с асинхронными двигателями, безредукторные с синхронными двигателями на постоянных магнитах и регулирующей системой управления [1, 2].

Целью работы является рассмотрение инновационной лифтовой системы с применением двухдвигательного электропривода (ЭП). В качестве приводных двигателей используются бесколлекторные двигатели постоянного тока с безобмоточным ротором (ББДПТ) новой конструкции, которые были разработаны в Одесском национальном политехническом университете. Данный ББДПТ обладает рядом достоинств: высокой перегрузочной способностью по току 5–7, уменьшенной инерционностью ротора двигателя, улучшенными энергетическими показателями [3].

При нагрузке кабины массой от 0,8 т<sub>р</sub> до 0,2 т<sub>р</sub> используется один из двигателей, что дает возмож-

ность обеспечить высокую эффективность работы лифтового механизма подъема. В случае выхода из строя одного из двигателей лифтовая система не перестает работать, обеспечивая при этом повышение надежности [4].

Что касается системы управления ББДПТ, она полностью идентична системе широтно-импульсный преобразователь–двигатель (ШИП–Д) с трехконтурной системой управления. Это дает возможность применять более простые алгоритмы управления, которые по своим техническим качествам не уступают существующим системам [5, 6].

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Исследование лифтового механизма подъема параллельной структуры с ББДПТ проводится с детальным учетом параметров механической и электрической части лифта. Также учитывается реальная структура цикла работы от начала движения кабины до наложения электромагнитного тормоза [7].

Технические данные используемых ББДПТ приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Технические данные БДПТ

Название параметра	Значения
Номинальная мощность, кВт	7,2
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
Номинальное напряжение, В	200
Номинальный ток, А	39,96
Номинальный КПД, %	87
Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	0,024
Номинальный момент, Н·м	46
Сопротивление якорной обмотки, Ом	0,49
Индуктивность якоря, Гн	0,0134

Общий вид лебедки лифтового механизма подъема параллельной структуры представлен на рис. 1. Данная конструкция состоит из следующих основных элементов: двигатели, планетарные редукторы, муфты, дисковые тормоза, канатоведущий шкив.

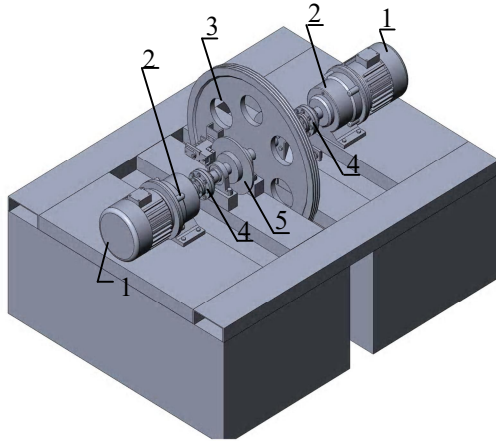


Рисунок 1 – Общий вид двухдвигательного ЭП лифтового механизма подъема на базе БДПТ:

- 1 – двигатели, 2 – планетарные редукторы,
- 3 – канатоведущий шкив, 4 – муфты,
- 5 – дисковые тормоза

$$\left. \begin{aligned}
 J_1 \left( \frac{d\omega_1}{dt} \right) / i_p &= M_{o1} - \frac{M_{13}}{i_p}; \\
 J_2 \left( \frac{d\omega_2}{dt} \right) / i_p &= M_{o2} - \frac{M_{23}}{i_p}; \\
 J_3 \left( \frac{d\omega_3}{dt} \right) &= M_{13} + M_{23} + M_{нагр}; \\
 M_{13} &= M_{n13} + M_{em13} = C_{13} \int \left( \frac{\omega_1}{i_p} - \omega_3 \right) dt + b_{13} \left( \frac{\omega_1}{i_p} - \omega_3 \right) \varepsilon \delta e^{|\varphi'_{p1} - \varphi_3| \geq \Delta\varphi_3 / 2}; \\
 M_{13} &= 0 \quad \varepsilon \delta e^{|\varphi'_{p1} - \varphi_3| \geq \Delta\varphi_3 / 2}; \\
 M_{23} &= M_{n23} + M_{em23} = C_{23} \int \left( \frac{\omega_2}{i_p} - \omega_3 \right) dt + b_{23} \left( \frac{\omega_2}{i_p} - \omega_3 \right) \varepsilon \delta e^{|\varphi'_{p2} - \varphi_3| \geq \Delta\varphi_3 / 2}; \\
 M_{23} &= 0 \quad \varepsilon \delta e^{|\varphi'_{p2} - \varphi_3| \geq \Delta\varphi_3 / 2}.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Лифтовая система рассматривается как трехмассовая система [8].

Считается, что при наличии зазоров в кинематической схеме движение третьей массы может начаться лишь только тогда, когда выбрана половина зазора  $\varphi_3/2$  в одну или другую сторону [9].

Система уравнений, описывающих трехмассовую механическую часть лифтового механизма подъема, имеет вид (1).

На рис. 2 приведена структурная схема математической модели механической части лифтового механизма подъема.

На схеме приняты следующие обозначения:  $M_{o1}, M_{o2}$  – моменты соответствующих двигателей (Нм);  $M_{нагр}$  – сумма моментов нагрузки (Нм);  $M_{13}, M_{23}$  – упругие моменты с учетом внутреннего вязкого трения (Нм);  $M_{n13}, M_{n23}$  – упругие моменты (Нм);  $M_{em13}, M_{em23}$  – моменты вязкого трения (Нм);  $J_1, J_2, J_3$  – моменты инерции первой, второй и третьей массы (кг·м<sup>2</sup>);  $C_{13}, C_{23}$  – эквивалентные коэффициенты жесткости упругих элементов (Нм);  $b_{13}, b_{23}$  – эквивалентные коэффициенты вязкого трения упругих звеньев;  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  – скорости вращения двигателей и канатоведущего шкива (с<sup>-1</sup>); НЭ1, НЭ2 – нелинейный элемент, моделирующий эквивалентный зазор в зубчатых передачах;  $\varphi_1, \varphi_2$  – угол поворота вала редукторов (рад);  $\varphi'_1, \varphi'_2$  – приведенный угол поворота тихоходного вала редукторов (рад);  $\Delta\varphi_3$  – приведенный зазор в редукторе.

Двухдвигательный ЭП лифтового механизма подъема состоит из силовой части и системы управления. Функциональная схема представлена на рис. 3. В состав силовой части ЭП входят трехфазные неуправляемые выпрямители (В1-В2), электрические С-фильтры (Ф1-Ф2) с разрядным ключом, блоки силовых ключей (БСК1-БСК2), БДПТ1-БДПТ2, редукторы (Р1-Р2) и КВШ. Система управления имеет в своем составе датчики напряжения (ДН1-ДН2), датчики тока (ДТ1-ДТ2), датчики скорости ротора двигателя (ДСР1-ДСР2) и датчики положения ротора (ДПР1-ДПР2), блок сигналов задания (БСЗ), дешифраторы сигналов (ДШ1-ДШ2), управляющий микроконтроллер (УМК) и блок питания системы управления (БПСУ).

Для упрощення аналізу в структурі ЕП не показані елементи захисту, сигналізації і других допомогательних устроїв.

Во время работы лифтового ЭП постоянно проводится мониторинг загрузки кабины. На протяжении 0,5 с происходит замер массы груза по значе-

нию тока якоря двигателя. Если ток меньше либо равен номинальному значению одного двигателя, то УМК подает сигнал разрешения на работу одного двигателя, если ток больше номинального значения, то работают два двигателя.

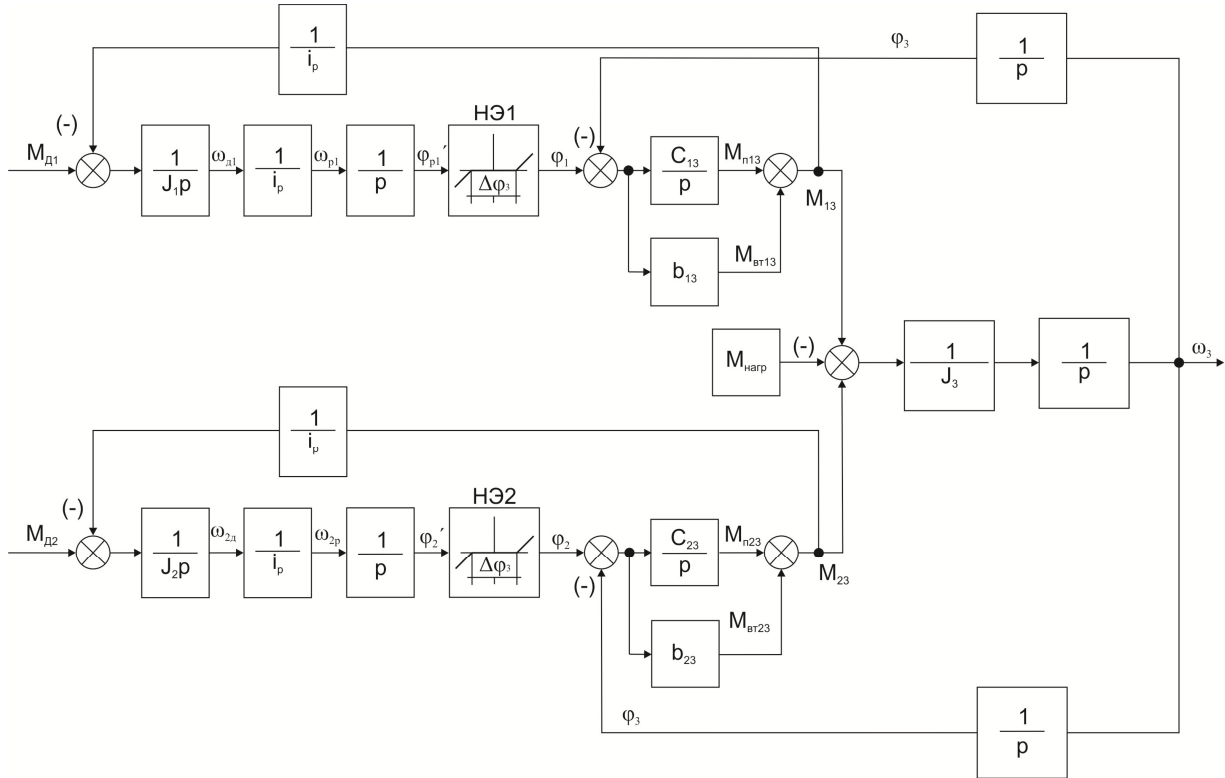


Рисунок 2 – Структурная схема математической модели механической части лифтового механизма подъема

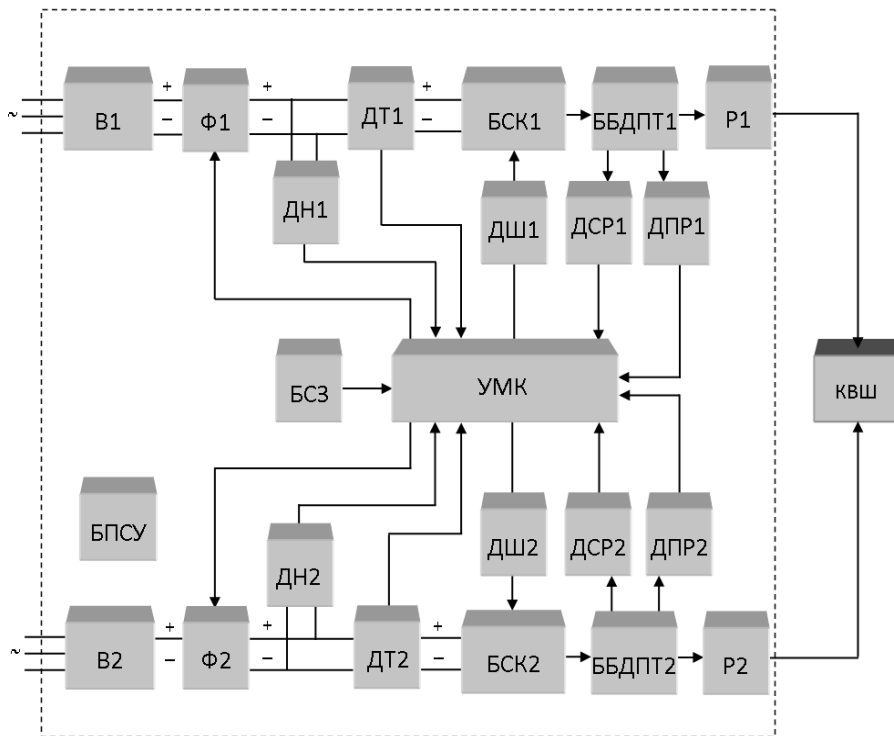


Рисунок 3 – Функциональная схема лифтовой лебедки на базе ББДПТ

Поскольку обмотка двигателя имеет 12 секций, то в качестве силовых ключей используются четыре интеллектуальных силовых IGBT модуля, каждый из которых имеет в себе шесть транзисторов с обратными диодами, а также драйверы для их управления. Блок силовых транзисторов собран по 12-фазной мостовой схеме. Такая конструкция позволяет управлять скоростью вращения двигателя за счет двухполярной широтно-импульсной модуляции (ШИМ), а также выступать в качестве полупроводникового коммутатора в секции обмоток. Сигналы управления интеллектуальными силовыми модулями формируются программируемой логической интегральной схемой, которая выполняет функции дешифратора сигналов, поступающих от оптического датчика положения ротора, и получает ШИМ последовательность от управляющего контроллера.

В качестве управляющего контроллера лифтового ЭП используется контроллер фирмы ATMEL типа ATmega32, на котором собран ШИМ модулятор и трехконтурная система подчиненного управления.

БДПТ состоит из неподвижного статора, на котором расположены обмотка возбуждения с обмоткой якоря, и ротора в виде диска с ферромагнитными полюсами. Принцип действия двигателя основан на поочередной коммутации секций обмоток якоря. Поскольку обмотка двигателя имеет 12 секций, то в каждый момент времени оказываются подключенными группа из шести последовательно соединенных секций, например с1-с6 и с7-с12, тогда оказываются параллельно соединенными две группы секций. Сопротивление и индуктивность якорной цепи можно представить следующим образом:

$$R_{\text{я}} = \frac{(R_{c1} + R_{c2} + R_{c3} + R_{c4} + R_{c5} + R_{c6}) \times (R_{c7} + R_{c8} + R_{c9} + R_{c10} + R_{c11} + R_{c12})}{R_{c1} + R_{c2} + R_{c3} + R_{c4} + R_{c5} + R_{c6} + R_{c7} + R_{c8} + R_{c9} + R_{c10} + R_{c11} + R_{c12}}, \quad (1)$$

$$L_{\text{я}} = \frac{(L_{c1} + L_{c2} + L_{c3} + L_{c4} + L_{c5} + L_{c6}) \times (L_{c7} + L_{c8} + L_{c9} + L_{c10} + L_{c11} + L_{c12})}{L_{c1} + L_{c2} + L_{c3} + L_{c4} + L_{c5} + L_{c6} + L_{c7} + L_{c8} + L_{c9} + L_{c10} + L_{c11} + L_{c12}}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{я}}$  – сопротивление якоря;  $R_{c1} - R_{c12}$  – сопротивления 1–12 секции;  $L_{\text{я}}$  – индуктивность якоря;  $L_{c1} - L_{c12}$  – индуктивность 1–12 секции.

Моделирование БДПТ выполняется на базе уравнений классического двигателя постоянного тока [10]:

$$U_{\text{я}} = R_{\text{я}} i_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + e; \quad (3)$$

$$e = C \omega; \quad (4)$$

$$M = M_c + J_{\text{сум}} \frac{d\omega}{dt}; \quad (5)$$

$$J_{\text{сум}} = J_o + J_p + J_{\text{мпр}}, \quad (6)$$

где  $U_{\text{я}}$  – напряжение якоря двигателя;  $i_{\text{я}}$  – ток якоря двигателя;  $e$  – электродвижущая сила двигателя;  $C$  – коэффициент двигателя;  $\omega$  – угловая скорость;

$M$  – электромагнитный момент двигателя;  $M_c$  – приведенный момент механизма;  $J_{\text{сум}}$ ,  $J_o$ ,  $J_p$ ,  $J_{\text{мпр}}$  – момент инерции суммарный двигателя, редуктора и приведенной муфты соответственно.

Регуляторы трехконтурной системы подчиненного управления с БДПТ следующие: регулятор тока – релейный, регулятор скорости – пропорционально-интегральный (ПИ), настроенный на симметричный оптимум, регулятор положения – пропорциональный (П), настроенный на модульный оптимум. Соответствующие передаточные функции регуляторов приведены ниже:

$$H_{\text{pc}}(p) = \frac{1}{K_{\text{dc}}}, \quad (7)$$

где  $K_{\text{dc}}$  – коэффициент датчика тока.

$$H_{\text{пу}}(p) = \frac{K_{\text{dc}} J_{\text{сум}} (8T_{\text{ми}} p + 1)}{4T_{\text{ми}} p C K_{\text{ду}} 8T_{\text{ми}}}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{ду}}$  – коэффициент датчика скорости;  $T_{\text{ми}}$  – некомпенсированная постоянная времени.

$$H_{\text{pn}}(p) = \frac{K_{\text{ду}}}{16T_{\text{ми}} K_{\text{дн}}} = K_{\text{пу}}, \quad (9)$$

где  $K_{\text{дн}}$  – коэффициент датчика положения;  $K_{\text{пу}}$  – коэффициент регулятора скорости.

При анализе работы лифтового ЭП параллельной структуры с БДПТ учитывалась поездка на один этаж. Во время остановки на этаже кабина лифта удерживается в неподвижном состоянии за счет дискового тормоза. За время остановки кабины лифта на этаже совершается посадка (высадка) пассажиров. Перед началом движения кабины лифта вверх (вниз) происходит процесс снятия тормоза с одновременным включением ЭП лифта, вследствие чего совершается процесс электрического удержания кабины за счет момента двигателя. При получении команды пуска кабина лифта начинает двигаться по заданной траектории с заданным ограничением рывка и ускорения с максимально допустимой постоянной скоростью движения. При подъезде к назначенному этажу происходит процесс торможения по заданной траектории с ограничением динамических параметров движения кабины лифта. После остановки ЭП работает в режиме электрического удержания кабины, что необходимо для уверенного наложения тормоза, и только после этого отключается. Режим электрического удержания кабины лифта за счет работы ЭП происходит на протяжении 0,5 с, что является достаточным для уверенного снятия и наложения тормоза.

Результат исследования работы двухдвигательного ЭП лифтовой лебедки во время поездки на один этаж с загрузкой кабины 75 кг приведен в виде графиков скорости и момента двигателя на рис. 4 и 5. Моделирование проводилось при разных зазорах в редукторе, а именно  $\Delta\varphi_{31}=1,8$  град и  $\Delta\varphi_{32}=2,7$  град.

Рис. 4 и 5 иллюстрируют точное воспроизведение БДПТ заданной траектории движения кабины и точной остановкой, с ограничением заданной скорости на уровне номинальной, ускорения – до 1 м/с<sup>2</sup>

и рывка – до 3 м/с<sup>3</sup>, что соответствует угловым величинам  $\xi=4,17$  1/с<sup>2</sup> и  $\rho=12,5$  1/с<sup>3</sup>. Эти параметры соответствуют условиям комфортного перемещения пассажиров.

Следует отметить, что при подъеме кабины вверх на один этаж в начале пуска наблюдается бросок момента БДПТ до -70 Нм, что составляет 1,52 Мн. Максимальный момент, который возникает на валу двигателя, при выборе зазора в редукторе составляет 78 Нм у первого двигателя и -66 Нм у

второго двигателя, что в 1,7 и 1,43 раза больше номинального, соответственно.

Экспериментальные характеристики перемещения и скорости ЭП с БДПТ, которые были сняты на действующей установке, приведены на рис. 6 и 7. Разница между экспериментальными данными и результатами моделирования не превышают 7 % в статических и 15 % – в динамических режимах.

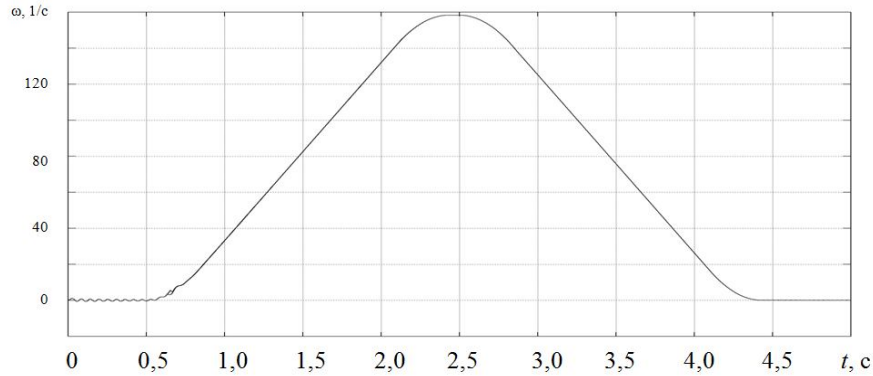


Рисунок 4 – Тахограмма при перемещении кабины с грузом 75 кг

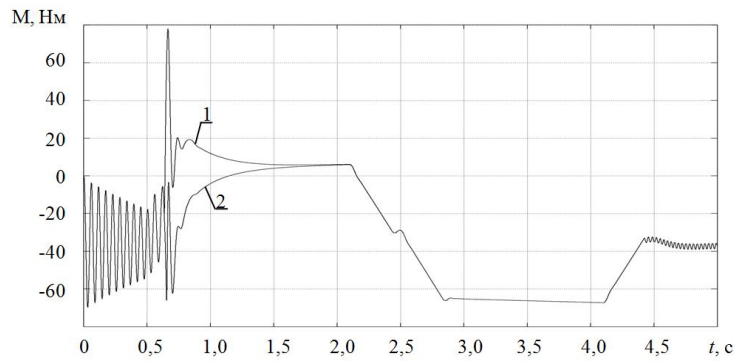


Рисунок 5 – График момента при перемещении кабины с грузом 75 кг: 1 – первого двигателя ( $\Delta\varphi_{31}=1,8$  град); 2 – второго двигателя ( $\Delta\varphi_{32}=2,7$  град)

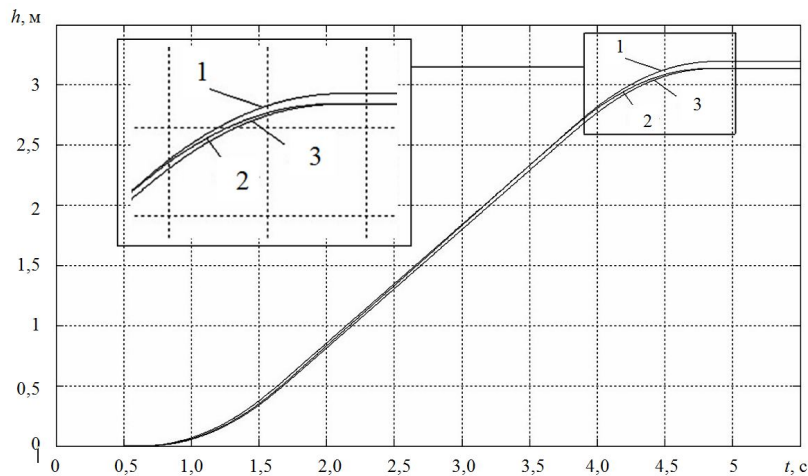


Рисунок 6 – Диаграмма пройденного пути кабины лифта: 1 – с учетом дробной части; 2 – с целой частью; 3 – на выходе двигателя при целочисленном задании

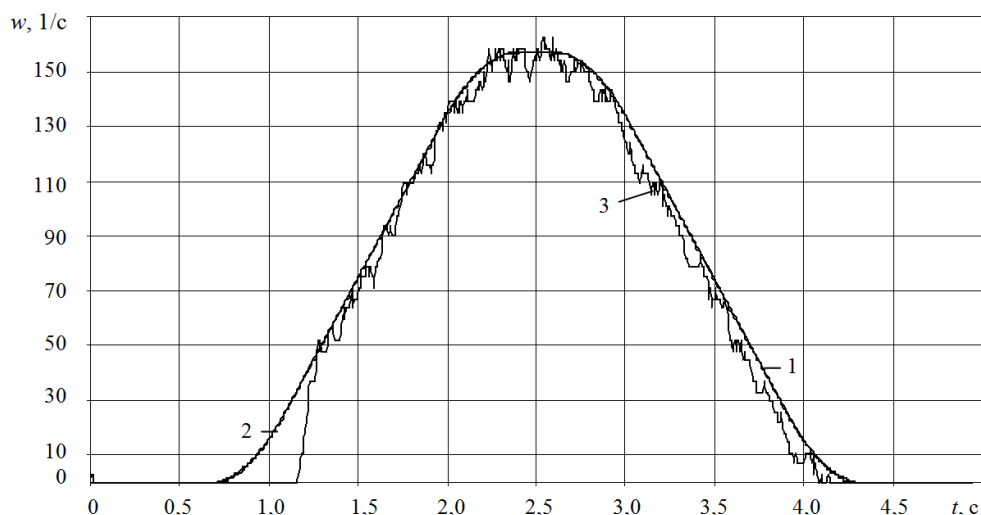


Рисунок 7 – График угловой скорости во время перемещения кабины с грузом 75 кг:  
 1 – с учетом дробной части; 2 – с целой частью; 3 – на выходе двигателя при целочисленном задании

Для формирования ШИМ последовательности используется 8-битный ШИМ, поэтому задания скважности состоят из целых чисел от 0 до 255. В полученных расчетных значениях задание скважности использовалось с учетом дробной части и с округлением до целочисленных значений. Диаграмма скорости 1 соответствует заданию с дробной частью при поездке на один этаж (3,2 м). Пройденный путь 1 в этом случае составляет 3,2595 м, что на 6 см больше необходимого. Результатом этого является то, что на вход регулятора скорости вместо 4,16 с-1 (тах задание на S-характеристике) было подано задание в виде  $4,1с-1 \cdot 10 = 41$  дискреты.

При использовании значения задания с целочисленным числом ошибка пройденного пути 2 составляет 0,12 мм, соответствующая диаграмма скорости обозначена как 2.

Угловая скорость и пройденный путь на выходе двигателя при целочисленном задании обозначены 3 соответственно.

Для компенсации разницы между заданием с дробной частью и целой частью необходимо вводить поправочный коэффициент или увеличивать разрядность ШИМ до 10 бит, что более рационально, но не всегда возможно.

**ВЫВОДЫ.** Вариант предлагаемой лифтовой системы с двухдвигательным ЭП имеет следующие преимущества:

- обеспечение непрерывной работы лифтовой лебедки в случае выхода из строя одного из двигателей до выявления и устранения неполадки;
- улучшение энергетических показателей при работе малыми и средними нагрузками.

В качестве приводного двигателя лифтового механизма подъема принципиально может быть использован предложенный инновационный индукторный бесколлекторный двигатель постоянного тока с безобмоточным ротором, а использование современной элементной базы позволяет создать

надежную высокоточную микропроцессорную систему управления этим двигателем.

Работа лабораторного образца двухдвигательного ЭП дает возможность точного воспроизведения заданной траектории движения кабины и точной остановки, которая выполняется на требуемом этаже без дополнительных операций подхода к заданной точке. Максимальная погрешность по перемещению кабины не превышает 0,12 мм относительно задания.

Разность между величинами, полученными в результате исследования работы предложенного лифтового двухдвигательного ЭП с помощью его компьютерной и физической (экспериментальной) моделей, не превышает 7 % в статических и 15 % – в динамических режимах.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Janovsky L. Testing of Elevator Mashines // Elevator Technology. – Karlsruhe. – Iss. 2/1988. – PP. 114–121.
2. Janovsky L. Analysis of Stress in Guide Rails // Elevator Technology. – Rome. – Iss. 3/1990. – PP. 227–236.
3. Strakosch G.R. Vertical transportation. – New-York: Welley, 1987. – 365 p.
4. Архангельский Г.Г. Современные тенденции и перспективы развития лифтостроения // Стройпрофиль. – 2008. – № 7. – С. 94–96.
5. Булгар В.В., Ивлев Д.А. Применение двигателей постоянного тока с безобмоточным ротором в низкоскоростных безредукторных электроприводах // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса. – Вып. 1/2010 (33)–2/2010 (34). – С. 99–104.
6. Jong J., Nakala H. The advantage of PMSM Elevator Tehnology in High Rise Building // Elevator Technology. – Berlin. – Iss. 10/2000. – PP. 284–290.
7. Андриющенко О.А., Бойко А.А., Булгар В.В. та ін. Вимоги до приводного двигуна безредукторної лебідки пасажирського ліфта // Електротехнічні та ком-

пьютерные системы. – К.: Техніка, 2011. – Вып. 79. – С. 163–166.

8. Андриященко О.А., Бойко А.А. Повышение технического уровня пассажирских лифтов Украины, эволюция или революция // Экономист. – 2011. – Вып. 8. – С. 75–79.

9. Liu B., Gao Y. Position servo control for a direct-drive actuator based on genetic algorithm // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technol-

ogy. – 2013. – Iss. 5 (23). – PP. 5359–5364. – URL: <http://maxwellsci.com/print/rjaset/v5-5359-5364.pdf>.

10. Samitha Ransara H.K., Madawala U.K. Modelling and analysis of a low cost Brushless DC motor drive// Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, art. no. 6505698. – 2013. – PP. 356–361. – DOI: 10.1109/ICIT.2013.6505698. URL: <http://scihub.org/pdfcache/2e3f2ed24e52aada5d5e524311d7d2a3.pdf>.

## FEATURES OF ELECTRIC POWER TWIN-ENGINE ELEVATOR LIFTING MECHANISM WITH INDUCTION BRUSHLESS DC MOTORS WITH ROTOR WITHOUT WINDING

**N. Akchebash**

Odessa National Polytechnic University

prosp. Shevchenko, 1, Odessa, 65044, Ukraine. E-mail: 4ud8@mail.ru

**Purpose.** The proposed use of the elevator electromechanical systems, which includes twin-engine electric drive. As the drive motors are used innovative inductive brushless DC motor with rotor without winding. This concept allows to increase the reliability of the actuator and to provide a high efficiency elevator hoist at the average downloads of the cab. **The research material.** Mathematical modeling of elevator electric drive with BBDPT is carried out with a detailed accounting of the parameters of the mechanical and electrical parts of the lift. Also includes the real cycle from the beginning of the movement prior to the application of electromagnetic brakes. Given the overall view and functional diagram of elevator electric drive. The obtained mathematical model allows the study of dynamic modes of electric drive of elevator. Are the waveforms of speed, torque and position, obtained by mathematical modeling and experimentally. **Results** Analysis of the proposed electromechanical system reveals that it provides requirements for the operation of the lifting mechanism of the lift, with a maximum error displacement of 0.12 mm. The use of modern element base have allowed to create reliable high-precision digital-to-first microprocessor-based control system.

**Key words:** passenger lift, twin-engine electric drive, inductive brushless DC motor with rotor without winding, mathematical modelling, experiment on the existing installation.

### REFERENCES

1. Janovsky, L. (1988), "Testing of Elevator Mashines", *Elevator Technology*, Vol. 2, pp. 114–121.

2. Janovsky, L. (1990), "Analysis of Stress in Guide Rails", *Elevator Technology*, Vol. 3, pp. 227–236.

3. Strakosch, G.R. (1987), *Vertical transportation*, Welley, New-York, USA.

4. Archangelskiy, G.G. (2008), "Current trends and prospects of lift business", *Stroyprofil*, Vol. 7, pp. 94–96. (in Russian)

5. Bulgar, V.V. and Ivlev, D.A. (2010), "Application of DC motors with rotor without winding in low-speed direct-drive electric actuators", *Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta*, Vol. 1, 2, no. 33, 34, pp. 99–104. (in Russian)

6. Jong, J. and Hakala, H. (2000), "The advantage of PMSM Elevator Tehnology in High Rise Building", *Elevator Technology*, Vol. 10, pp. 284–290.

7. Andryushchenko, O.A., Boyko, A.A. and Bulgar, V.V. (2011), "Requirements drive motor gearless hoist passenger lift", *Electrical and computer systems*, Vol. 03, no. 79, pp. 163–166. (in Ukrainian)

8. Andryushchenko, O.A. and Boyko, A.A. (2011), "Increase the technical level of passenger elevators in Ukraine, evolution or revolution?", *Economist*, Vol. 8, pp. 75–79. (in Russian).

9. Liu, B. and Gao, Y. (2013), "Position servo control for a direct-drive actuator based on genetic algorithm", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 5, no. 23, pp. 5359–5364) available at: URL: <http://maxwellsci.com/print/rjaset/v5-5359-5364.pdf>

10. Samitha Ransara, H.K. and Madawala, U.K. (2013), "Modelling and analysis of a low cost Brushless DC motor drive", *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, available at: URL: <http://scihub.org/pdfcache/2e3f2ed24e52aada5d5e524311d7d2a3.pdf>, DOI: 10.1109/ICIT.2013.6505698 (art. no. 6505698, pp. 356–361)

Стаття надійшла 26.07.2016.