

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЛІФТОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ  
ЧАСТОТИ ШЛЯХОМ ВВЕДЕННЯ СИГНАЛУ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

В роботі розглянуто проблематику експлуатації ліфтових установок з безредукторним електроприводом на базі частотно-керованого тихохідного асинхронного двигуна. Встановлено, що використання тихохідного асинхронного двигуна в безредукторному електроприводі дозволяє мінімізувати необхідну потужність перетворювача частоти, що покращує техніко-економічні показники електроприводу. Безредукторний електропривод у порівнянні з редукторним має значно більший сумарний момент інерції, що доведено відповідними розрахунками для прямого та поліспастного підвісу. Проведено випробування на діючих ліфтових установках із використанням різних типів частотних перетворювачів. Здійснено підбір оптимальної конфігурації та розроблено методику налаштування безредукторних електроприводів на базі частотно-керованого тихохідного асинхронного двигуна. Надано рекомендації з усунення основних недоліків даного типу лебідок. За рахунок вибору частотного перетворювача та введення сигналів зворотного зв'язку вдалося досягнути підвищеної комфортності пересування ліфтів за рахунок високої плавності ходу і забезпечення точності зупинок. Це дозволяє значно скоротити час пуско-налагоджувальних робіт, знизити їх собівартість та ефективніше використовувати дані типи електроприводів.

Ключові слова: ліфт, двигун, лебідка, частотний перетворювач, струм, напруга, швидкість, диференціальні рівняння, момент інерції, система керування, енкодер.

V.I. STETSYUK, V.A. NIKITOV  
Khmelnitsky National University

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE OPERATION OF LIFTING CONVERTERS OF FREQUENCY BY  
INTRODUCING THE FREQUENCY COMMUNICATION SIGNAL**

In the paper the problems of operation of elevator units gearless winch electric drive on the basis of a frequency controlled, slow-moving asynchronous motor are considered. The use of an asynchronous motor for constructing a gearless electric drive of an elevator is a non-standard solution and, according to the authors of the transitional stage, to the creation of modern synchronous motors. However, the practice of using such a winch showed that this design has a number of disadvantages, among which the main is the difficulty of management and the problem of precise stops. The work outlines the directions for overcoming these shortcomings; the mathematical substantiation of the non-inductive asynchronous slow-moving engines has been carried out. It is established that the use of a slow-moving asynchronous motor in a gearless electric drive allows minimizing the necessary power of the frequency converter, which improves the technical and economic parameters of the electric drive. The gearless electric drive, in comparison with the gearbox, has a much larger total moment of inertia, which is proved by the corresponding calculations for the direct and polispast suspension. The ratio of the total moment of inertia of the electric drive to the moment of inertia of the engine with a gear motor is (2,5-6): 1. With the use of gearless winches, this ratio is (40-60):1 at the polispast and (100-128):1 with a straight suspension. It is established that when using a gearless electric drive with a slow-moving asynchronous motor, the kinetic energy of the elevator at a nominal speed is 5-6 times less than when using a gear motor with a two-speed asynchronous motor. Tests on existing lift installations using different types of frequency converters have been performed. The selection of the optimal configuration was made and the method of setting the gearless electric drives on the basis of the frequency controlled, slow-moving asynchronous motor was developed. The recommendations for eliminating the main drawbacks of this type of winches are given. Due to the choice of the frequency converter and the input of feedback signals, it was possible to achieve increased comfort of the movement of elevators due to high smoothness of the course and ensuring the accuracy of stops. This can significantly reduce the time of commissioning, lower their cost and more efficient use of current types of electric drives.

Keywords: elevator, engine, winch, frequency converter, current, voltage, speed, differential equations, moment of inertia, control system, encoder.

**Вступ**

Сучасна міська забудова немислима без використання ліфтової техніки. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, кількість ліфтів в Україні на сьогоднішній день складає майже 86 тис. штук. Зосереджено дане обладнання в основному в Києві та інших великих містах з висотною забудовою (рис. 1). Граничний термін експлуатації згідно [1–3] складає 25 років, після чого повинна здійснюватися модернізація або заміна ліфтового обладнання. В даний час з перевищенням граничних термінів використовується більше 60% українських ліфтів.

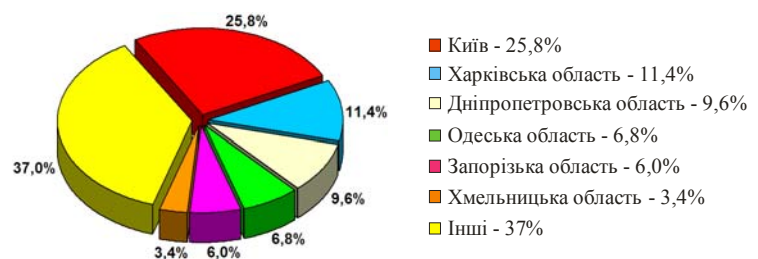


Рис. 1. Структура парку ліфтів в Україні станом на 2017 рік

Ліфтове обладнання, представлене на українському ринку, має як вітчизняне, так і імпортне походження. Поставки ліфтів здійснюються з Білорусії (ОАО “Могилевліфтмаш”), Росії (ПАО “КМЗ”, ОАО “Щербинский лифтостроительный завод”) Китаю (SJEC, KOYO), Туреччини (“HAS”, “SAHLIFT”), Польщі (“PILAWA”) та інших країн таких відомих торговельних марок, як “OTIS”, “SCHINDLER”, “ThyssenKrupp”.

“KLEEMANN” і “KONE”.

**Основна частина**

Важливим елементом ліфта є електропривод. Найчастіше це редукторні асинхронні одношвидкісні або асинхронні двошвидкісні лебідки. Такі електроприводи широко використовуються дотепер, однак мають ряд істотних недоліків технічно-економічного характеру: великі масо-габаритні показники, значне споживання електроенергії та низький ККД, потребують регулярного технічного обслуговування (заміна масла, ущільнювальних сальників, тощо).

Сучасним напрямком розвитку приводної техніки є використання безредукторного електроприводу, позбавленого зазначених недоліків. Закордонні безредукторні електроприводи виготовляють із використанням синхронних двигунів з постійними магнітами. Однак у нашій країні широке застосування одержали безредукторні електроприводи, виконані на базі асинхронних двигунів (АД) вітчизняного виробництва [4].

У відповідності зі сказаним, метою даної роботи є вдосконалення техніко-економічних показників ліфтових установок з безредукторним електроприводом на базі частотно-керованого тихохідного асинхронного двигуна, дослідження особливостей такого електроприводу і розробка методики його розрахунку.

До переваг регульованого безредукторного електроприводу в порівнянні з нерегульованим редукторним можна віднести: відсутність редуктора, більш висока комфортабельність ліфта, зменшення рівнів шуму та вібрацій, енергозбереження, спрощення та здешевлення обслуговування електроприводу, скорочення розмірів машинного приміщення, та ін.

Найважливішими вимогами до електроприводу ліфта, обладнаного безредукторною лебідкою на основі тихохідного асинхронного двигуна є забезпечення точної зупинки і плавності руху. Точність автоматичної зупинки кабіни ліфта в експлуатаційних режимах роботи не повинна бути вище і нижче поверхової площадки більш ніж на 20 мм; у випадку одночасної роботи дверей кабіни і шахти ця величина може бути збільшена до 35 мм [1–3]. Недостатня точність зупинки знижує продуктивність ліфта, зменшується комфортабельність і безпека його використання. А відхилення робочої швидкості руху кабіни від номінальної повинно бути в межах  $\pm 15\%$  [2].

Рух кабіни пасажирського ліфта відбувається за оптимальним законом, якщо ліфт забезпечує максимальну продуктивність при дотриманні необхідних умов комфортності, мінімум первісних і експлуатаційних витрат і має обмежену по максимуму швидкість руху кабіни. У цьому випадку оптимальна діаграма руху кабіни (рис. 2) має однакові по тривалості інтервали пуску і зупинки, протягом яких прискорення і ривок швидкості не перевищують максимально припустимих значень, і інтервал рівномірного руху, протягом якого швидкість руху кабіни не перевищує максимального значення. Режим роботи електроприводу ліфта характеризується частими ввімкненнями і вимкненнями. При цьому можна виділити наступні етапи руху:

- стартове прискорення електродвигуна;
- рух зі сталою рівномірною швидкістю;
- зменшення швидкості при підході до поверху призначення (безпосередньо до нуля або до малої швидкості дотягування);
- гальмування до повної зупинки кабіни ліфта на поверсі призначення з необхідною точністю.

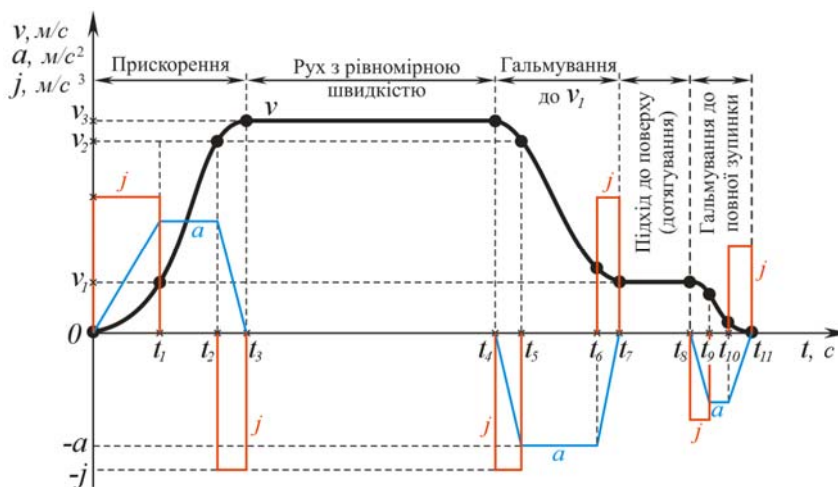


Рис. 2. Оптимальна діаграма руху кабіни ліфта:  $v$  – швидкість;  $a$  – прискорення;  $j$  – ривок

Дотримання оптимальності руху кабіни в істотній мірі, залежить від структури електроприводу і системи його керування і, в основному, полягає в обмеженні прискорень  $a$  кабіни та їх похідних – ривків  $j$ :

$$j = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{d^3r}{dt^3}, \tag{1}$$

де  $v$  – швидкість;  $a$  – прискорення;  $r$  – радіус-вектор переміщення.

Плавність руху кабіни кількісно визначається значенням прискорення при розгоні. Максимальне прискорення кабіни при експлуатаційних режимах не повинне перевищувати  $2 \text{ м/с}^2$ ; для ліфтів у лікувально-профілактичних установах –  $1 \text{ м/с}^2$ . При зміні прискорення руху збільшуються навантаження на конструктивні елементи ліфта та з'являються неприємні відчуття в пасажирів, тому що вестибулярний апарат людини чутливий до значення ривка. Максимальне значення ривка документально не обмежується, але зазвичай обмежується на рівні  $3 \dots 10 \text{ м/с}^3$ . Максимальна величина уповільнення кабіни під час зупинення кнопкою «Стоп» або спрацювання іншого вимикача безпеки – не більше ніж  $3 \text{ м/с}^2$ . Частота включень на годину для пасажирських ліфтів повинна становити 100–240, а для вантажних – 70–100 при тривалості включень 15–60%.

Зупинка кабіни повинна супроводжуватися накладенням механічного гальма. Відключення електродвигуна при зупинці кабіни повинно відбуватися після накладення гальма. Зняття механічного гальма повинне бути можливо тільки після створення (електричного моменту, достатнього для нормального розгону електродвигуна. В асинхронних редукторних електроприводах виконання цієї вимоги зазвичай забезпечується тим, що напруга живлення подається на електродвигун одночасно з подачею напруги на електромагніт гальма. В електроприводах постійного струму перед зняттям гальма на схему керування зазвичай подають сигнал задання моменту і струму двигуна, достатнього для втримання кабіни на рівні площадки без гальма (задання початкового струму).

Використання АД для побудови безредукторного електроприводу ліфта є нестандартним рішенням. Важливим завданням є експериментальна перевірка особливостей безредукторного частотно-керованого електроприводу з тихохідним асинхронним двигуном шляхом проведення його випробувань на діючих ліфтових установках (теплові випробування, вимірювання змінних електроприводу, точності зупинки, шумів і вібрацій, перевірка запасу механічних моментів).

Як було зазначено вище, в Україні широке застосування одержали безредукторні електроприводи, виконані на базі асинхронних низькооборотних (тихохідних) двигунів, прикладом яких є серія асинхронних ліфтових двигунів Харківського електротехнічного заводу: АДБ160L6/18ЛБУЗ, АДБ180M6/18ЛБУЗ і АДБХ180L12ЛБУЗ (рис. 3, табл. 1–3). Двигуни АДБ призначені для редукторних приводів ліфтів, а АДБХ180 – для безредукторних приводів ліфтів, при роботі разом із частотним перетворювачем.

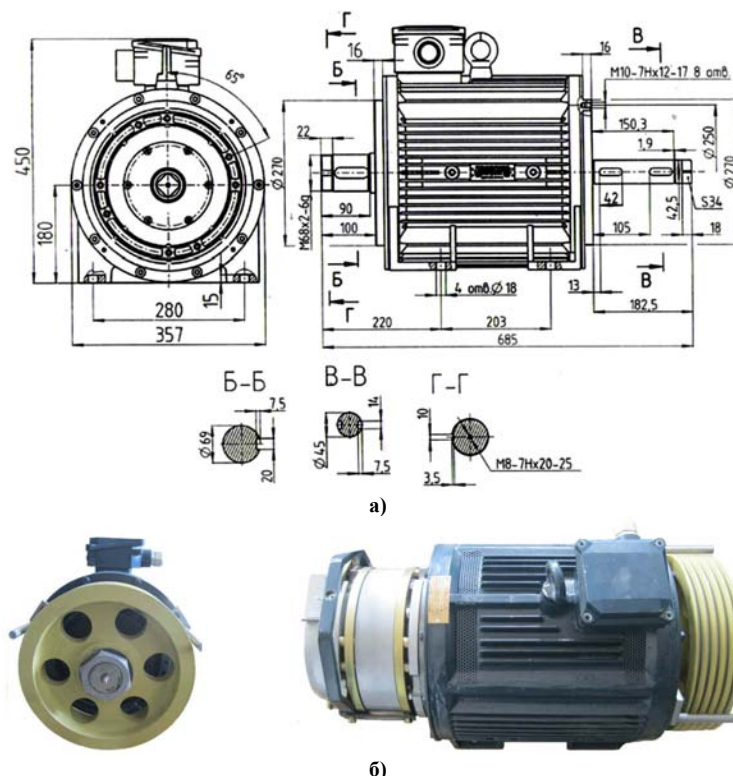


Рис. 3. Асинхронний двигун АДБХ180L12ЛБУЗ (а) та ліфтова безредукторна лебідка ЛЛБ-06 (б) створена на його базі

Таблиця 1

Двигуни серії АДБ

№ з/п	Серія, тип	Потужність, кВт	Напруга, В	Синхронна частота обертання, об/хв.	ККД, %
1	АДБ160L6/18ЛБУЗ	3,55/1,18	380	1000/333	70/40
2	АДБ180M6/18ЛБУЗ	4,2/1,25	380	1000/333	73/42

Таблиця 2

## Двигуни серії АДБХ

Назва параметра	Значення параметра для режиму		
	Ревізії об'єкту	Мінімального	Номінального
Потужність, кВт	0,637	3,520	6,750
Частота обертання, об/хв.	56,000	134,000	203,000
Лінійна напруга, В	150,000	275,000	380,000
Частота живлення, Гц	6,000	15,000	24,000
Струм, А, не більше	23,500	17,000	21,000
Номінальний момент, Н·м, не менше	110,000	250,000	320,000
ККД, %, не менше	15,000	62,500	35,500
$\cos \varphi$ , град.	0,795	0,822	0,912

На базі двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ створена ліфтова безредукторна лебідка ЛЛБ-06 для ліфтів вантажопідйомністю 400-630 кг зі швидкостями руху 1-1,6 м/с з поліспастичним підвісом кабіни.

Таблиця 3

## Технічні характеристики безредукторної ліфтової лебідки ЛЛБ-06

Технічні характеристики	Значення
Номінальна вантажопідйомність ліфта, кг	630
Допустиме навантаження на вісь, кг	1600
Поліспастичний підвіс	2:1
Швидкість підйому кабіни ліфта, м/с	1,6
Маса кабіни, кг	700
Міжцентрова відстань між осями кабіни й противаги, мм	930
Кількість тягових канатів, шт.	4
Діаметр тягового каната, мм	8
Діаметр КВШ, мм	320
Діаметр вала двигуна під гальмо, мм	45
Виліт вала двигуна, мм	200
Номінальна потужність двигуна, кВт	6,4
Номінальна частота обертання двигуна, об/хв.	191
Діапазон регулювання частоти обертання двигуна	40-250 об/хв. або 5-30 Гц
Номінальна напруга живлення двигуна, В	380
Номінальна частота живлення двигуна, Гц	24
Номінальний обертовий момент двигуна, Н·м	320
Тип гальма	дисковий
Номінальний статичний гальмівний момент, Н·м	470x2
Рід струму гальма	постійний
Напруга гальма, В	205
Корегований рівень звукової потужності, не більше	78
Максимальне число включень за годину (ДСТ 22011-95)	150
Розмір двигуна по лапам, мм	203x280
Маса двигуна (для чугунного виконання оболонки), кг	220

Канатоведучий шків (КВШ) установлюється безпосередньо на вал електродвигуна. Зі зворотної сторони двигуна на вал установлюються електромагнітні гальма і датчик швидкості. Охолодження електродвигуна – природна конвекція, без вентилятора на валу. В обмотку вбудований температурний захист; клас стійкості до нагріву ізоляції – Н (150 °С) з перевищенням температури обмоток до 110 °С. Режим роботи – повторно-короткочасний (S5 за ГОСТ 183) з розгоном і роботою при великій частоті обертання, наступним перемиканням і роботою з меншими частотами обертання і паузою.

Однак практика експлуатації такої лебідки показала, що дана конструкція має ряд недоліків, серед яких основними є важкість керування (підбір необхідних параметрів частотного перетворювача) і проблематичність точних зупинок. Перша проблема пов'язана зі "специфічними" параметрами самого двигуна: частота обертання, пускові струми, діапазон робочих напруг в різних режимах, тощо. Забезпечення оптимального поєднання цих параметрів практично неможливе на більшості ліфтових частотних перетворювачах. Налаштування потребує доступу до технологічних та часто закритих пунктів меню частотних перетворювачів, тісного контакту із заводами-виробниками перетворювальної техніки. Все це призводить до технічно та економічно важких рішень запуску та налаштування безредукторних лебідок на базі асинхронних тихохідних двигунів. Друга проблема більш критична, так як має комплексний характер і пов'язана із забезпеченням точних зупинок. Відсутність редуктора призводить до варіативних і важко

контрольованих “відкатів” двигуна як при старті так і при зупинці. Проблема також ускладнюється тісною залежністю від навантаження (дисбалансу) кабіни: чим більший дисбаланс тим менша точність попадання на зупинки – до 200 мм (що у десятикратно більше допустимих норм).

Для розрахунку статичних і динамічних характеристик електроприводу з тихохідним асинхронним двигуном значний інтерес представляє розробка математичного опису і методики розрахунку параметрів схеми заміщення.

Для аналізу електромагнітних процесів в асинхронному двигуні зазвичай використовуються диференціальні рівняння АД, записані у векторній формі в системі координат  $u$ ,  $v$ , що обертається з довільною швидкістю  $\omega_k$ :

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_1 &= \frac{d\bar{\Psi}_1}{dt} + j\omega\bar{\Psi}_1 + R_1\bar{i}_1; \\ 0 &= \frac{d\bar{\Psi}_2}{dt} + j(\omega_k - \omega)\bar{\Psi}_2 + R_2'\bar{i}_2; \\ \bar{\Psi}_1 &= L_s\bar{i}_1 + M_0\bar{i}_2; \\ M &= \frac{3}{2}p_\tau\omega_m \frac{k_r}{\sigma X_s} I_m(\bar{\Psi}_1\bar{\Psi}_2^*); \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{p_\tau}{J}(M - M_c), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $\bar{U}_1$  – вектор напруги статора;  $\bar{\Psi}_1$  і  $\bar{\Psi}_2$  – вектори потокозчеплення статора і ротора;  $\bar{i}_1$  і  $\bar{i}_2$  – вектори струмів статора і ротора;  $p_\tau$  – кількість пар полюсів АД;  $\omega$  – електрична швидкість АД;  $\omega_m = 2\pi f_m$  – кругова частота напруги живлення.

Векторні величини потокозчеплень і струмів статора і ротора пов'язані з відповідними скалярними наступними співвідношеннями:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\Psi}_1 &= \bar{\Psi}_{U1} + j\bar{\Psi}_{v1}; \\ \bar{\Psi}_2 &= \bar{\Psi}_{U2} + j\bar{\Psi}_{v2}; \\ \bar{i}_1 &= i_{U1} + j i_{v1}; \\ \bar{i}_2 &= i_{U2} + j i_{v2}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Система рівнянь (2) дозволяє розраховувати динамічні режими роботи при підстановці відповідних параметрів АД.

Активний опір статора двигуна:

$$R_{AD} = \rho_g \frac{L}{q_{ef}} \quad (4)$$

де  $\rho_g$  – питомий опір матеріалу обмотки статора при розрахунковій температурі;  $q_{ef}$  – площа поперечного перерізу ефективного провідника статора;  $L = l_{cp}\omega$  – довжина ефективних провідників фази обмотки статора, яка визначається середньою довжиною витка обмотки статора  $l_{cp}$  і числом витків  $\omega$ .

Індуктивний опір розсіювання обмотки статора:

$$X_C = 15,8 \frac{f}{100} \left( \frac{\omega}{100} \right)^2 \cdot \frac{l'_\delta}{pq} (\lambda_n + \lambda_\lambda + \lambda_\delta) \quad (5)$$

Коефіцієнти магнітної провідності пазового ( $\lambda_n$ ), лобового ( $\lambda_\lambda$ ) і диференціального розсіювання ( $\lambda_\delta$ ) статора визначаються геометричними розмірами магнітопроводу і технологією виготовлення обмотки статора.

Індуктивний опір розсіювання обмотки короткозамкненого ротора:

$$X_P = 7,9l'_\delta \cdot 10^{-6} (\lambda_n + \lambda_\lambda + \lambda_\delta + \lambda_{cx}) \quad (6)$$

де  $\lambda_n$ ,  $\lambda_\lambda$ ,  $\lambda_\delta$  – коефіцієнти пазового, лобового і диференціального розсіювання,  $\lambda_{cx}$  – коефіцієнт магнітної провідності скосу, який враховує вплив скосу пазів на магнітну провідність.

Повний індуктивний опір фази статора:

$$X_s = X_0 + X_C \quad (7)$$

де  $X_0$  – опір взаємодуції обмоток статора і ротора;  $X_C$  – індуктивний опір розсіювання фази статора. Тоді

$$L_s = 2m \frac{\mu_0}{p\pi^2} (\omega k_{ob})^2 \frac{l'_\delta \tau}{\delta k_\delta}; \quad X_s = L_s 2\pi f \quad (8)$$

Номінальний струм асинхронного двигуна визначається відомою формулою:



$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{3U_{ф,ном} \eta_{ном} \cos \varphi_{ном}}, \tag{9}$$

де  $P_{ном}$ ,  $U_{ф,ном}$ ,  $\eta_{ном}$  і  $\cos \varphi_{ном}$  – номінальні значення потужності, фазної напруги, коефіцієнта корисної дії і коефіцієнта потужності.

При заданій потужності номінальний струм асинхронного двигуна тим менше, чим більше його номінальна напруга. При роботі зі зниженою частотою, збереженні магнітного потоку електричної машини і виконанні умови  $M=const$  асинхронному двигуну потрібна менша напруга, ніж при роботі з більш високими швидкостями. Отже, при роботі частотно-регульованого асинхронного електроприводу зі зниженими швидкостями між робочою напругою і доступним для використання мережним значенням є запас по напрузі. При збільшенні номінальної напруги АД на зниженій швидкості зростає необхідна напруга, при цьому запас по напрузі знижується. Вибираючи коефіцієнт зміни номінальної напруги відносно типового асинхронного двигуна для безредукторного електроприводу таким чином, щоб з однієї сторони зайвий запас по напрузі був мінімальний, а з іншої сторони обмежуючи напругу на рівні мережної, можливо найбільш ефективним чином мінімізувати необхідну для роботи електроприводу потужність перетворювача частоти. Даний принцип використовується для побудови низькошвидкісних асинхронних двигунів, призначених для застосування в безредукторному електроприводі. Низькошвидкісний асинхронний двигун відрізняється від типового значенням номінальної напруги.

В цьому ракурсі можлива побудова низькошвидкісного асинхронного двигуна, обмотки статора якого мають підвищене в порівнянні з типовим АД число витків. Застосування такого двигуна в частотно-регульованому електроприводі дозволяє вибирати перетворювач частоти на мінімальні струми а отже невеликої вартості.

Окрім розгляду електричних характеристик, слід співставити сумарні моменти інерції безредукторної тихохідної лебідки на базі асинхронного двигуна і редукторної двошвидкісної з асинхронним двигуном, як типового і масового представника застарілих редукторних приводів.

Типова конструкція ліфта з таким електроприводом схематично показана на рис. 5, а результати розрахунку приведеного до вала двигуна моменту інерції для редукторних лебідок виробництва «Могилівліфтмаш» наведені в табл. 4.

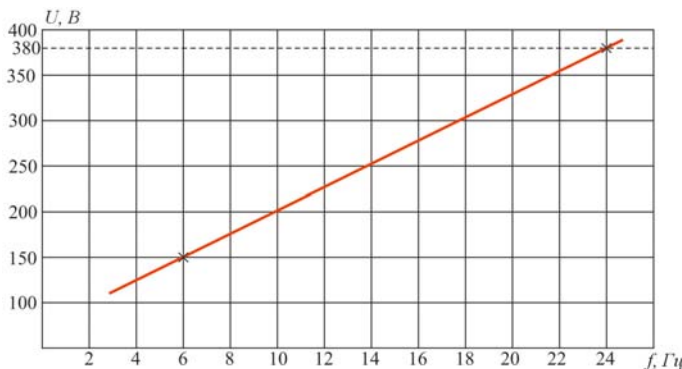


Рис. 4. Залежність робочої напруги від частоти ліфтові безредукторної лебідки на базі асинхронного тихохідного двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ при законі керування  $M=const$

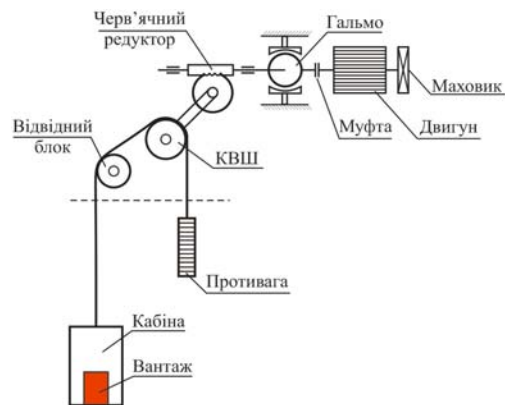


Рис. 5. Кінетична схема ліфта з редукторним електроприводом на базі двошвидкісного АД

Таблиця 4

**Приведені моменти інерції елементів редукторних лебідок «Могилівліфтмаш»**

Вантажопідйомність і номінальна швидкість ліфта	400 кг, 1 м/с		630 кг, 1 м/с	
	кг·м <sup>2</sup>	% від $J_{\Sigma 1}$	кг·м <sup>2</sup>	% від $J_{\Sigma 1}$
Маховик	0,59	56,2	1,112	55,6
Двигун	0,21	20	0,55	27,5
Муфта	0,067	6,4	0,067	3,4
Гальмовий механізм	0,039	3,7	0,039	1,9
КВШ	0,002	0,2	0,0037	0,2
Відвідної блок	0,0015	0,1	0,0024	0,1
Канати	0,003	0,3	0,006	0,3
Кабіна	0,06	5,7	0,089	4,5
Противага	0,077	7,3	0,118	5,9
$J_{\Sigma 1}$ (при порожній кабіні)	1,05		2,00	
$J_{\Sigma 2}$ (при номінальному завантаженні кабіни)	1,08		2,05	

$J_{\Sigma}$  – сумарний приведений до вала двигуна момент інерції механізму

З табл. 4 видно, що при використанні редукторних лебідок із двошвидкісним АД частка обертових із двигуном мас (маховик, двигун, муфта) становить 82,6 % від приведеного сумарного моменту інерції. Рухомі поступально маси кабіни (з вантажем) і противаги становлять не більше 15 % від сумарного моменту інерції. Також слід зазначити, що при визначенні сумарного моменту інерції редукторного електроприводу можна зневажити впливом наступних елементів: КВШ, відвідний блоком, обертовими масами гальмівного механізму та масами канатів, які рухаються лінійно. Значення наведеного моменту інерції муфти для розглянутих лебідок відносно малі в порівнянні з моментом інерції двигуна, однак існують конструкції лебідок, у яких застосовуються масивні муфти.

Аналогічно розглянемо безредукторну лебідку ЛЛБ-06 з тихохідним асинхронним двигуном АДБХ180L12ЛБУЗ.

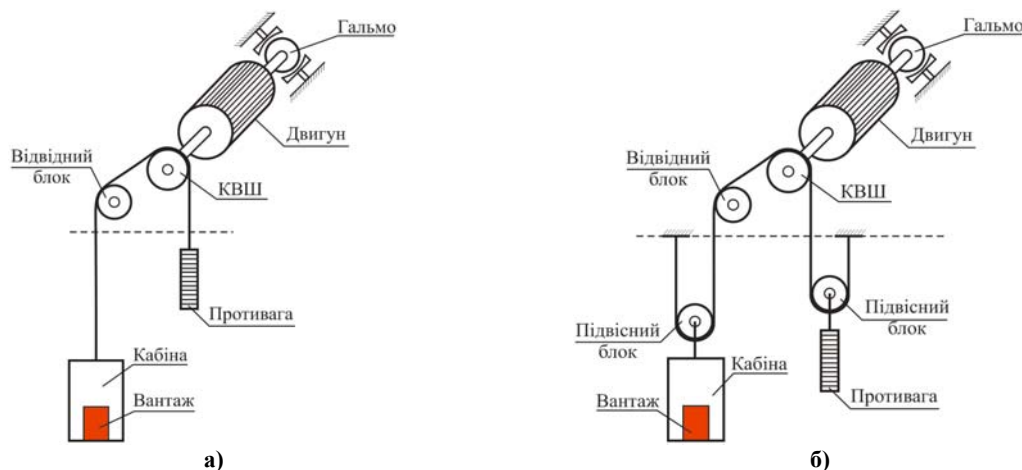


Рис. 6. Кінематичні схеми ліфтів з безредукторним електроприводом при прямому (а) і поліспаєстному (б) підвісах

Таблиця 5

Приведені моменти інерції елементів безредукторних лебідок ЛЛБ-06 на базі асинхронних двигунів серії АДБХ180L12ЛБУЗ

Вантажопідйомність і номінальна швидкість ліфта	400 кг, 1 м/с		400 кг, 1 м/с		630 кг, 1 м/с	
	Підвіс ліфта		поліспаєстний		поліспаєстний	
Одиниця вимірювання	кг·м <sup>2</sup>	% від J <sub>Σ1</sub>	кг·м <sup>2</sup>	% від J <sub>Σ1</sub>	кг·м <sup>2</sup>	% від J <sub>Σ1</sub>
КВШ	0,256	0,6	0,256	2,0	0,256	1,5
Двигун	0,41	1,0	0,27	2,1	0,41	2,4
Гальмівний механізм	0,653	1,5	0,653	5,0	0,653	3,8
Відвідний блок	0,256	0,6	0,256	2,0	0,256	1,5
Канати	0,488	1Д	0,977	7,5	1,3	7,6
Кабіна	17,92	41,7	4,8	36,9	6,08	35,6
Противага	23,04	53,6	5,76	44,3	8,09	47,4
J <sub>Σ1</sub> (при порожній кабіні)	43,02		13,00		17,05	
J <sub>Σ1</sub> (при номінальному завантаженні кабіні)	53,26		15,56		21,05	

З аналізу табл. 5 слідує, що такі елементи конструкції, як КВШ, гальмівний механізм, відвідний блок при безредукторному виконанні електроприводу вносять у сумарний момент інерції співрозмірний із двигуном внесок. У випадку редукторного електроприводу впливом даних елементів можна було зневажити.

Таким чином, для редукторних лебідок відношення сумарного моменту інерції електроприводу до моменту інерції двигуна становить (2,5-6):1. При використанні безредукторних лебідок дане співвідношення становить (40-60):1 при поліспаєстному і (100-128):1 при прямому підвісі. Безредукторний електропривод у порівнянні з редукторним має значно більший сумарний момент інерції. При використанні безредукторної лебідки значення сумарного моменту інерції при нульовому і номінальному завантаженні кабіни різняться на 20-25 %. При використанні редукторного електроприводу – не більше ніж на 3-5 % і практично не залежить від завантаження кабіни. При використанні безредукторного електроприводу значно знижується необхідна для розгону двигуна і обертових мас лебідки енергія.

Динамічні режими роботи електроприводу енергетично більш витратні відносно статичних. Для оцінки зниження витрат енергії в динамічних режимах при використанні безредукторного електроприводу становить інтерес розрахувати значення сумарної кінетичної енергії ліфтів вантажопідйомністю 400 кг і 630 кг при номінальній швидкості руху 1 м/с:

$$W = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega^2}{2}, \tag{10}$$

де  $J_{\Sigma}$  – сумарний приведений до вала двигуна момент інерції механізму;  $\omega$  – швидкість двигуна.

У розглянутих редукторних лебідках частота обертання двошвидкісного асинхронного двигуна близько 1000 об/хв., тобто  $\omega=1000/9,55=104,7$  рад/с. У безредукторній лебідці ЛЛБ-06 частота обертання двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ (згідно табл. 3) складає 200 об/хв., тобто  $\omega=200/9,55=20,9$  рад/с. У табл. 6 наведені результати, розрахунку при використанні редукторного та безредукторного електроприводів.

Таблиця 6

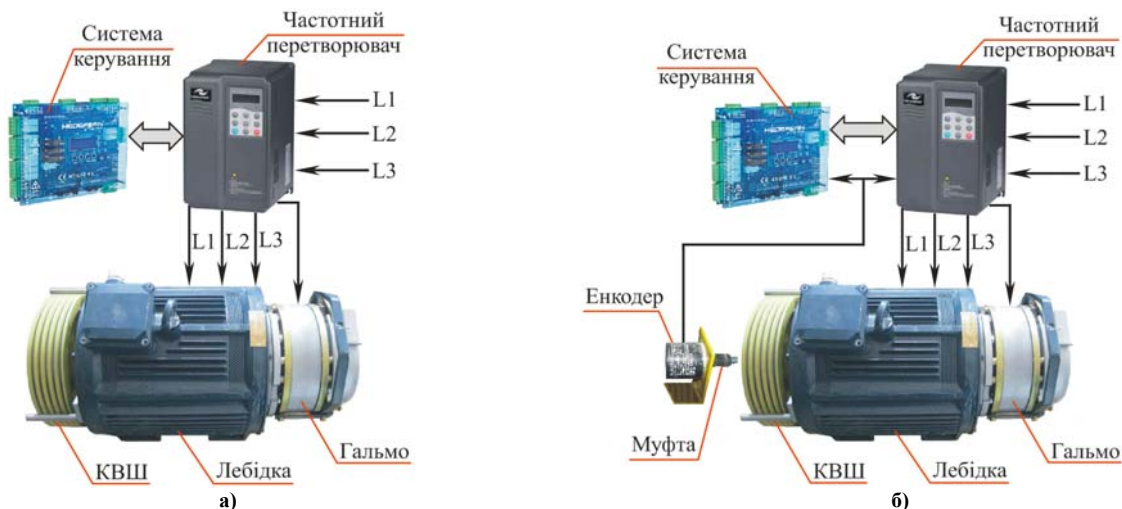
**Кінетична енергія ліфтів із редукторними та безредукторними лебідками**

Тип, вантажопідйомність і номінальна швидкість ліфта	Редукторна лебідка «Могилевліфтмаш»		Безредукторна лебідка ЛЛБ-06 на базі двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ		
	400 кг, 1 м/с	630 кг, 1 м/с	400 кг, 1 м/с прямий	400 кг, 1 м/с поліспасти ий	630 кг, 1 м/с поліспасти ний
Енергія, Дж (порожня кабіна)	5184	9864	864	1044	1332
Енергія, Дж (номінальне завантаження)	5328	10152	1044	1224	1656

З табл. 6 видно, що сумарна кінетична енергія ліфта з безредукторним електроприводом при номінальній швидкості в 5-6 разів менше, ніж при використанні редукторного електропривода.

Отримані результати досліджень та розрахунки були підтверджені практично і лягли в основу вирішення проблемних питань безредукторних тихохідних лебідок. Так, випробування лебідки ЛЛБ-06 на базі асинхронного двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ без зворотного зв'язку (open loop) показали незадовільні результати і довели, що прийнятна робота в якості ліфтової лебідки в такому режимі неприпустима. Спостерігалися критичні неточності зупинки ліфта на поверсі (до 200 мм) і сильна залежність від завантаження кабіни, яка потребувала постійного підлаштування системи. Разом із тим, система “open loop” добре зарекомендувала себе з редукторними лебідками завдяки черв'ячній передачі та великій інерційності системи двигун-редуктор.

Для забезпечення комфортного, надійного пересування ліфта та задоволення вимог правил безпечної експлуатації ліфтів [1–3] рекомендується наступна схема ввімкнення (рис. 7, б) безредукторного тихохідного двигуна. Це схема із закритим контуром (closed loop), тобто містить коло зворотного зв'язку на основі сигналів енкодера. Для спрощення і здешевлення обладнання енкодер може бути інкрементним, але бажано з великою розрізнявальною здатністю – 2500...5000 імпульсів на один оберт. Зрозуміло, що абсолютний енкодер дасть кращі результати, але він має на порядки більшу вартість.



**Рис. 7. Схема під'єднання лебідки ЛЛБ-06 на базі асинхронного двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ: а) без зворотного зв'язку (open loop); б) зі зворотним зв'язком (closed loop)**

Стосовно труднощів керування та підбору необхідних параметрів частотного перетворювача – проблема вирішується вибором ліфтового частотного перетворювача, наприклад добре зарекомендували себе Omron LX, Yaskawa та Inovance.

**Висновки**

Виконання безредукторного електропривода з типовими асинхронними двигунами недоцільно, тому що при цьому потрібен перетворювач частоти із потужністю, приблизно рівною номінальній потужності



двигуна. Ефективніше використовувати низькошвидкісні АД, які конструктивно відрізняється від типового тільки обмоткою статора. Використання тихохідного асинхронного двигуна в безредукторному електроприводі дозволяє мінімізувати необхідну потужність перетворювача частоти, що покращує техніко-економічні показники електроприводу. Безредукторний електропривод у порівнянні з редукторним має значно більший сумарний момент інерції. Встановлено, що при використанні безредукторного електропривода з тихохідним асинхронним двигуном кінетична енергія ліфта при номінальній швидкості менше (до 5-6 разів) ніж у випадку використання редукторного електроприводу із двошвидкісним АД. Проведені випробування та налаштування на діючих ліфтових установках тихохідної безредукторної лебідки ЛЛБ-06 на базі асинхронного двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ. Надано рекомендації по усуненню основних недоліків даного типу лебідок. За рахунок вибору частотного перетворювача та введення сигналів зворотного зв'язку вдалося досягнути підвищеної комфортності пересування ліфтів за рахунок високої плавності ходу і забезпечення точності зупинок.

### Література

1. НПАОП 0.00-1.02-08. Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів.
2. ДСТУ ISO 18738:2004. Ліфти (елеватори). Вимірювання параметрів якості руху ліфта.
3. ДСТУ EN 81-1:2003. Норми безпеки до конструкції та експлуатації ліфтів. Частина 1. Ліфти електричні.
4. Галкин А. А. Особенности механических параметров безредукторных лебедок лифта с низкоскоростным асинхронным двигателем / А. А. Галкин // Электропривод и системы управления: Труды МЭИ. – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – Вып. 685. – С. 67–72.

### References

1. NPAOP 0.00-1.02-08. Pravyla budovy i bezpechnoyi ekspluatatsiyi liftiv.
2. DSTU ISO 18738:2004. Lifty (elevatory). Vymiryuvannya parametriv yakosti rukhu lifta.
3. DSTU EN 81-1:2003. Normy bezpeky do konstrukttsiyi ta ekspluatatsiyi liftiv. Chastyna 1. Lifty elektrychni.
4. Halkyn A. A. Osobennosti mekhanycheskykh parametrov bezreduktornih lebedok lyfta s nyzkoskorostnim asynkronnim dvyhatelyem // Elektropryvod y systemi upravlenya: Trudi MEY: Vip. 685. – M.: Izdatelskiy dom MEY, 2009. – S. 67–72.

Рецензія/Peer review : 23.11.2017 р.

Надрукована/Printed :04.12.2017 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Бойко Ю.М.