

## ВИМОГИ ДО ПРИВІДНОГО ДВИГУНА БЕЗРЕДУКТОРНОЇ ЛЕБІДКИ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА

*Проаналізовано вимоги до приводного двигуна безредукторної лебідки пасажирського ліфта масового застосування. Приводяться рекомендації щодо оптимального співвідношення масогабаритних і енергетичних показників двигунів.*

*Проанализированы требования к приводному двигателю безредукторной лебедки пассажирского лифта массового применения. Приводятся рекомендации по оптимальному сочетанию массогабаритных и энергетических показателей двигателей.*

*The requirements are analysed to driving motor of the winch reductorfree of the widely adopted passenger lift. The recommendations for an optimum combination overall dimension and power parameters of motor are resulted.*

Наявність механічного редуктора у електроприводі будь якого механізму знижує загальний коефіцієнт корисної дії, надійність роботи і ускладнює його експлуатацію. Тому проблема переходу до безредукторних варіантів електроприводів є актуальною, саме такою, що співпадає із вимогами сучасності – підвищенням економічності та надійності роботи обладнання. Розумна ідея переведення електроприводів на безредукторне виконання стає проблематичною із-за відсутності тихохідних приводних двигунів. Робота присвячена аналізу вимог до тихохідних двигунів для найбільш розповсюджених пасажирських ліфтів, що встановлені в житлових та адміністративних будинках. Актуальність проблеми підкреслюється тим, що майже половина пасажирських ліфтів України вже відпрацювала розрахункові терміни експлуатації і вимагає термінової заміни або модернізації.

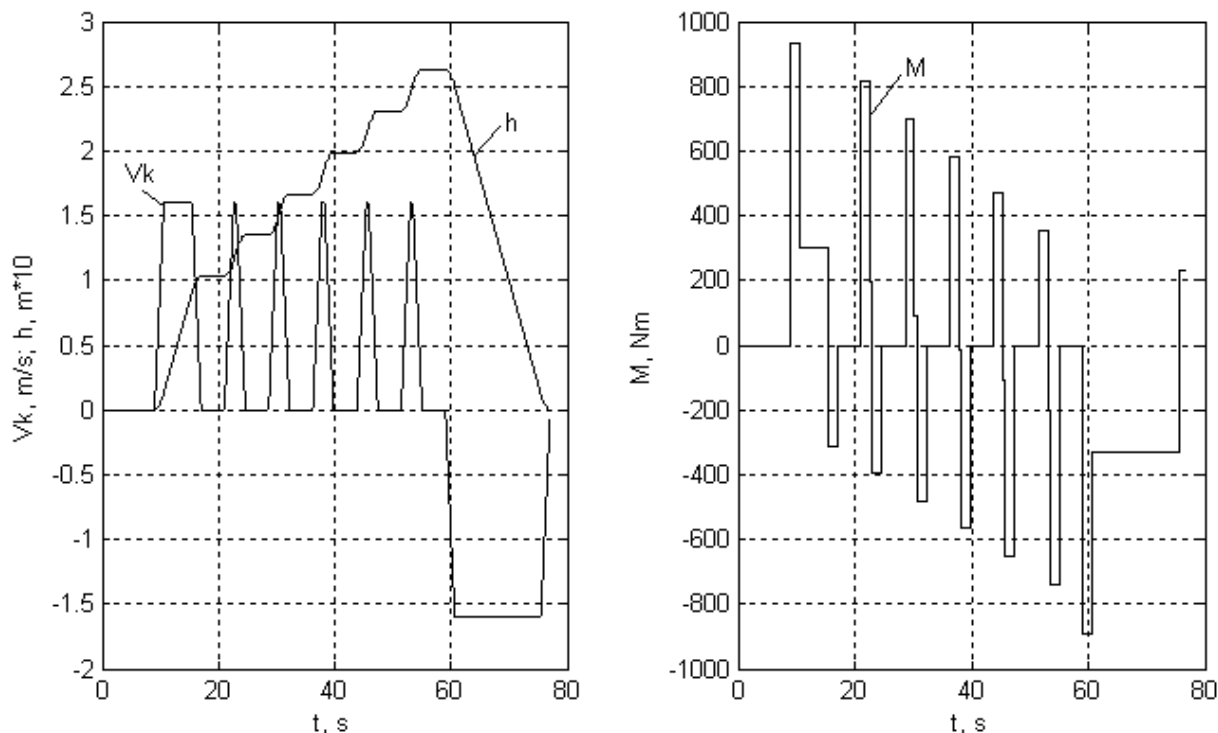
Переважає більшість ліфтів, що встановлені в житлових будинках, створювалась ще в 70-х роках минулого сторіччя і відповідають наступним технічним рішенням. Це ліфти із прямою підвіскою кабіни, вантажопідйомністю від 400 до 1000 кг і швидкістю до 1 м/с. До складу лебідки, крім двигуна, входять канатоведучий шків і черв'ячний (глобоїдний) редуктор. Діаметр тягових канатів 10,5 – 12 мм, що накладає обмеження на мінімальний діаметр канатоведучого шківу, а саме  $D_{\text{кш}} \geq 0,5$  м. Електропривод нерегульований із двошвидкісним асинхронним двигуном. Кількість полюсів обмотки високої швидкості 4 або 6, низької від 16 до 24. Маса кабіни та противаг 1250 кг та 1500 кг, двигун АС2-91-6/24 ШЛІМ 301, потужністю 7/1,75 кВт, ККД 85 %, масою 440 кг, глобоїдний редуктор із передаточним числом 45 і ККД 63 %, канатоведучий шків діаметром 0,93 м.

Модифікований варіант електроприводу ліфта передбачається як регульований безредукторний, що дозволить значно зменшити споживання електроенергії, забезпечити високу комфортність переміщення пасажирів, точну зупинку та відкрити можливості для збільшення швидкості та продуктивності ліфту [1]. При аналізі навантажень електроприводу враховувались, крім параметрів ліфту, параметри потоку пасажирів. Як базовий, обрано піковий ранковий режим будинку навчального закладу.

**Режими роботи ліфту та двигуна.** У піковому ранковому режимі на першому поверсі до кабіни входять шість пасажирів, перша зупинка на четвертому поверсі, де виходить один пасажир, а далі пасажири рівномірно виходять на наступних поверхах. Назад, до першого поверху, повертається порожня кабіна.

На рисунку представлені типові графіки переміщення кабіни ліфту та навантаження на валу приводного двигуна при обмеженнях швидкості та прискорення кабіни до 1,6 м/с та 1 м/с<sup>2</sup> відповідно. Розрахункова продуктивність такого ліфту 280 пасажирів на годину. Аналогічні розрахунки зроблені для швидкостей кабіни 1 м/с та 2 м/с, а також для варіанту із поліспаотною підвіскою кабіни.

**Розрахункові та проектні дані двигунів.** Розрахункові дані отримані на базі моделювання роботи електроприводу у вищеописаному циклі роботи прототипу ліфту, а проектні дані є результатом проектування вентильних двигунів постійного струму з дисковим ротором [1] (таблиця). Зауважимо, що для швидкості 2 м/с обране прискорення кабіни 1,25 м/с<sup>2</sup>, дещо більше, ніж у попередніх варіантах, з метою можливості поїздки на один поверх. Номінальний розрахунковий момент – еквівалентний за нагрівом для тривалого режиму роботи S1.



Графіки переміщення кабіни ліфту та діаграма навантаження двигуна пасажирського ліфту із поліспаотною підвіскою кабіни та протитваги вантажопідйомністю 500 кг та швидкістю 1,6 м/с

Розрахункові та проектні дані приводних двигунів безредукторних лебідок пасажирських ліфтів.

Показник	Од. вим.	Швидкість 1 м/с		Швидкість 1,6 м/с		Швидкість 2 м/с	
		Без пол.	Із пол.	Без пол.	Із пол.	Без пол.	Із пол.
Розрахункові дані							
Розрахункова швидкість	1/с	3,92	7,85	6,29	12,57	7,86	15,72
Розрахунковий момент	Н·м	618	304	691	370	827	399
Максимальний момент	Н·м	2008	901	2008	932	2535	991
Розрахункова потужн.	Вт	2428	2389	4348	4655	6503	6275
Проектні дані							
Номінальна швидкість	1/с	3,94	7,88	6,31	12,62	7,88	15,75
Номінальний момент	Н·м	769	385	874	420	887	428
Номінальна потужність	Вт	3229	3397	5708	5186	7186	6583
Номінальний ККД	%	78	82	83	84	84	84
Момент інерції ротора	кгм <sup>2</sup>	6,55	2,0	4,03	1,4	3,14	1,02
Габарит (довжина x діаметр)	м x м	0,4 x 1,12	0,35 x 0,86	0,40 x 0,98	0,34 x 0,78	0,40 x 0,93	0,35 x 0,75
Маса	кг	1420	759	1121	601	1013	534

Із наведених даних можна зробити наступні висновки. Для всіх швидкостей кабіни при відтворенні оптимальної за комфортністю діаграми руху від двигуна вимагається практично однакові моменти як за нагрівом, так і за перевантаженням. Серійних двигунів у заданому діапазоні швидкостей та моментів в Україні не існує, тому виникає проблема їх розробки.

В ідеальному випадку, при збереженні оптимальних навантажень активної частини двигуна, його

маса та габарити залежатимуть тільки від заданого моменту і не будуть залежати від заданої швидкості. Реально при значному зменшенні заданої швидкості маса та габарити двигуна стають неприйнятно великими. Критеріями прийнятності двигуна будемо вважати таку його масу, що менше або не на багато перевищує масу існуючого двигуна, та коефіцієнт корисної дії, більший за загальний коефіцієнт корисної дії існуючої лебідки (двигун та редуктор). Отже, доціль-

но розглянути компромісне рішення – головним параметром двигуна вважати не потужність, а момент і використовувати більш швидкісний двигун, наприклад для ліфту 2 м/с із прийнятними масою та габаритами у діапазоні швидкостей, що задовольняють вимоги менш швидкісних ліфтів 1,6 м/с або 1 м/с, замість спеціально спроектованих більш тихохідних двигунів із гіршими масогабаритними та енергетичними показниками.

При такому підході треба критично розглянути три питання – потрібний діапазон регулювання швидкості, безпеку експлуатації ліфту, енергетичні показники електроприводу.

**Номинальні швидкості приводного двигуна.** Розглянемо дві найбільш розповсюджені швидкості кабіни: 1 м/с та 1,6 м/с. Цим швидкостям, при мінімальному діаметрі канатоведучого шківів 0,509 м відповідають кутові швидкості двигуна 3,93 1/с та 6,29 1/с. Для двигуна змінного струму це вимагає наявності 80 та 50 пар полюсів, що дуже проблематично для виконання при прийнятних масі та габариті. Не краща ситуація і при намаганнях використання сучасних вентильних електричних двигунів постійного струму. Маса спроектованих двигунів у багато разів перевищує масу двошвидкісного асинхронного двигуна. Вихід вбачається у як найбільшому підвищенні номінальної швидкості приводного двигуна, що можна зробити двома шляхами – за рахунок оптимізації параметрів конструкції ліфта та штучного збільшення номінальної швидкості двигуна. Підвищення швидкості двигуна у два рази при одночасному такому ж зменшенні моменту досягається при переході до поліспасної підвіски кабіни та противаги. Можливе ще одне рішення – використання тягових ременів замість канатів, що припускають значно менші діаметри канатоведучих шківів і відповідне збільшення номінальної швидкості двигунів. Але цей вид передачі ще не набув розповсюдження і тут не розглядається.

Таким чином, одному і тому ж двигуну, в залежності від потреби, присвоюються різні номінальні значення швидкості та потужності. Ця ситуація не нова і нагадує аналогічну ситуацію для двигунів, що працюють в режимі S3, коли один і той же двигун має різні номінальні дані, в залежності від тривалості включення. Практична користь полягає в тому, що такий двигун, наприклад для ліфта із швидкістю 1 м/с буде мати набагато кращі масо - габаритні показники порівняно із спеціально спроектованим двигуном.

**Безпека експлуатації.** Велика швидкість двигуна, що може у кілька разів перевищувати штучно призначену номінальну швидкість, представляє потенційну загрозу безпеки. Безпечність експлуатації може бути забезпечена багаторівневим захистом: у системі керування від розбіжності сигналу задатчика та датчика швидкості, від перевищення абсолютного значення швидкості, від перевищення вихідної напруги

перетворювача, а також механічним обмежувачем швидкості. Відзначимо, що в вентильних електричних двигунах підвищення швидкості із-за виходу з ладу комутаторів неможливе конструктивно. До того ж на валу безредукторної лебідки за правилами безпеки встановлюються два незалежних електромагнітних гальма.

**Діапазон регулювання швидкості.** Тут треба розглядати два діапазони.  $D_{zn} = \frac{\omega_n}{\omega_{шн}}$  – діапазон штучного зниження номінальної швидкості, та  $D_p = \frac{\omega_{шн}}{\omega_{min}}$  – робочий діапазон регулювання швидкості для задовільного відтворення оптимальної діаграми руху. Загальний діапазон регулювання електроприводу  $D = D_{zn} \cdot D_p$ . Цей показник не може стати на заваді, оскільки для керованих систем електроприводів ліфтів достатньо мати робочий діапазон  $D_p \geq 100$  і збільшення його, навіть у кілька разів, не може розглядатися як фактор обмеження.

**Енергетичні показники.** При роботі з постійним моментом зниження швидкості керованого електроприводу постійного або змінного струму призводить до деякого зменшення загальних втрат потужності за рахунок зменшення втрат у сталі та механічних втрат. Але при зменшенні корисної потужності коефіцієнт корисної дії значно зменшується. Якщо припустити, що при зниженні швидкості зберігаються номінальні втрати потужності, то нове значення номінального ККД двигуна має наступну залежність від діапазону зниження номінальної швидкості:

$$\eta_{шн} = \frac{1}{1 + D_{zn} \left( \frac{1}{\eta_n} - 1 \right)}. \quad (1)$$

Вираз (1) дозволяє прогнозувати припустимий ступінь зниження швидкості серійного двигуна. Наприклад, якщо номінальний ККД серійного двигуна становить 90 %, то вже при  $D_{zn} = 8$  він знижується до 53 %, що порівняно з результируючим ККД існуючої лебідки.

## Висновки

1. Перехід до безредукторних лебідок в існуючих пасажирських ліфтах масового споживання вимагає використання тихохідних двигунів із номінальними швидкостями, при яких їх масогабаритні та енергетичні показники є незадовільними.

2. Використання серійних тихохідних двигунів, наприклад на 500 – 600 об/хв., у нижньому діапазоні швидкості призводить до значного зниження енергетичних показників, що дискредитує ідею створення безредукторних лебідок.

3. Створення безредукторної лебідки із прийнятними масогабаритними та енергетичними показника-

ми можливо при комплексному вирішенні питання підвищення номінальної швидкості тихохідного двигуна за рахунок використання поліспастів, зменшення діаметру канатоведучого шківу, нових оригінальних конструкцій вентильних двигунів, а також обґрунтованого збільшення номінальної швидкості двигуна.

#### Список використаної літератури

1. Андрющенко О.А. Пассажирский лифт как электромеханическая система. Перспективы и проблемы совершенствования энергетических показателей / О.А.Андрющенко, В.В.Булгар, В.Ф.Семенюк // Науч.-технич.и производ. журнал «Подъемные сооружения. Спец. техника». – № 2. – 2010. – С 23-28.

2. Булгар В.В. Применение двигателей постоянного тока с безобмоточным ротором в низкоскоростных безредукторных электроприводах. /В.В. Булгар, Д.А. Ивлев // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2010. – № 1(33)-2(34). – С. 99-104.

Отримано 13.07.2011



Андрющенко  
Олег Андрійович,  
д-р техн. наук, проф. каф.  
«Електромеханічні системи с  
комп'ютерним управлінням»  
Одеськ.нац. політехн. ун-ту,  
65044, г. Одеса, пр. Шевчен-  
ка 1, (8048)7348467



Бойко  
Андрій Олександрович,  
канд. техн. наук, директор  
ін-у ел.механіки та енерго-  
менеджменту  
Одеськ.нац. політехн. ун-ту,  
т,(8048)7348581



Булгар  
Віктор Васильович,  
канд. техн. наук, проф. каф.  
«Ел.механічні системи с  
комп'ютерним управлінням»  
Одеськ. нац. політехн. ун-ту,  
(8048)7348467



Івлєв  
Дмитро Анатолійович,  
ст. вик. каф. теоретич. основ  
та загальної ел.техніки  
Одеськ. нац. політехн. ун-ту,  
(8048)7348670