

УДК 692.66:62-83

Бойко А.А., к.т.н., Булгар В.В., к.т.н.

## **УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИВОДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В БЕЗРЕДУКТОРНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМАХ ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ**

Механизм подъема пассажирского лифта традиционной конструкции состоит из нескольких основных устройств: рамы, которая является несущей для всей конструкции, электродвигателя, редуктора, электромагнитного тормоза [1]. На выходном валу редуктора устанавливается канатоведущий шкив. Редуктор выполняется червячного типа по нескольким причинам: в процессе работы он, сравнительно, малошумный, обеспечивает необходимое передаточное отношение в одноступенчатом исполнении, а также обладает очень ценным свойством – самоторможением. Приводной двигатель - асинхронный (АД) с двумя независимыми обмотками, для обеспечения рабочей и пониженной скоростей [2]. Для приближения условий пуска и торможения к комфортным, в последних модификациях применяемых асинхронных двигателей, механическая характеристика имеет «экскаваторную» форму, а рабочий участок характеристики имеет достаточно большую жесткость. Пониженная скорость АД, необходима для осуществления операции точной остановки кабины. Такая компоновка силовой части обеспечивает комфортность перемещения пассажиров и надежную работу лифта даже при довольно ограниченных возможностях релейно - контактной аппаратуры [3].

Значительный недостаток лифтов с червячными редукторными лебедками - это их низкая энергетическая эффективность. Червячные редукторы имеют очень низкий (от 60% до 75%) коэффициент полезного действия (КПД) [4]. Небольшой, порядка 80% на рабочей скорости, КПД, имеет и двухскоростной асинхронный двигатель. На пониженной скорости АД его КПД едва достигает до 30% - 40% [2]. Неудовлетворительная энергетика подобных лифтовых систем и в динамических режимах. Благодаря наличию червячного редуктора, удельный вес полезной массы груза едва достигает до 0,1 от суммарной приведенной массы движущихся составляющих подъемного механизма. Это означает, что на разгон этих инерционных масс из сети тратится избыточная энергия. Надежды на возврат в сеть этой накопленной энергии при торможении не оправдываются из-за очень низкого общего значения КПД подъемного механизма и электропривода.

Лифты с редукторной лебедкой подобного типа и двухскоростным двигателем имеют ограничения также и по

максимальной скорости. Уже на скорости 1,6 м/с возникают проблемы с обеспечением комфортных условий перемещения. Для такого типа лебедок скорость кабины можно повысить или увеличением скорости двигателя, или уменьшением передаточного числа редуктора. Однако, известно, что с уменьшением передаточного числа менее некоторого предела, червячный редуктор теряет свойства самоторможения. Для надежной работы лифтовой системы на таких скоростях кабины необходимо применять уже управляемый электропривод, который имеет лучшие энергетические показатели в динамических режимах и может сформировать любую необходимую скорость, при этом дополнительная обмотка пониженной скорости двигателя становится уже не нужной.

Перечисленные недостатки, естественно, приводят к выводу о возможном отказе от червячного редуктора при проектировании новых лифтовых систем, как одном из путей повышения эффективности лифтовых подъемных механизмов. При этом повысится КПД лебедки, соотношение массы груза и других движущихся масс перераспределятся в пользу груза, появится возможность рекуперации значительных величин энергии и т.д. Однако, серьезной проблемой при создании безредукторных лебедок является необходимость иметь соответствующие по параметрам приводные двигатели [5].

Двигатель, сохраняя ту же мощность (или меньшую мощность, с учетом вычета мощности потерь в редукторе), должен быть тихоходным и развивать пропорционально увеличенный рабочий момент. Известно, что габариты двигателя, его масса и момент инерции ротора при равной мощности значительно зависят от его номинальной скорости. Все быстроходные двигатели имеют малые габариты, а тихоходные, наоборот, большие. Изъятие из подъемного механизма редуктора, с передаточным отношением  $i_p$  требует такого же уменьшения скорости двигателя и соответствующего увеличения момента, что показано в табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Зависимости скорости двигателей от заданной скорости кабины и диаметра канатов

<i>Параметр</i>	<i>Скорость 1 м/с</i>			<i>Скорость 1,6 м/с</i>		
	8	10	12	8	10	12
Диаметр каната, мм	8	10	12	8	10	12
Минимально допустимый диаметр КВШ, мм	320	400	480	320	400	480
Угловая скорость двигателя, 1/с	6,25	5,0	4,16	10,0	8,0	6,66
Частота вращения двигателя, об/мин.	59	47,75	39,8	94,4	76,4	63,66
Число полюсов машины при частоте напряжения 50 Гц	102	126	150	64	78	94

Машины переменного тока традиционной конструкции (асинхронные, синхронные) при этом должны иметь обмотку с огромным числом полюсов, которое теоретически доходит до 150. Полиспаст повышает требуемую скорость двигателя и уменьшает количество полюсов двигателей в число раз соответствующее его кратности. Для размещения большого количества полюсов требуется большой объем пространства. Снижается качество распределения магнитного поля в воздушном зазоре. Кроме этого, создание большого момента требует соответствующего увеличения сечения магнитопроводов [6]. Габариты и масса такого тихоходного двигателя значительно увеличиваются. Это объясняет ограниченность применения безредукторных лебедок с асинхронным электроприводом механизма подъема высокоскоростных лифтов, теми условиями, где требования к двигателю оказываются более приемлемыми. Относительно лифтов массового применения со сравнительно невысокими скоростями, проблема решается за счет создания двигателей специальных конструкций, например синхронных с возбуждением от постоянных магнитов. Постоянные магниты, которые могут иметь индукцию в несколько раз большую, чем электротехническая сталь, при небольших габаритах (полюса имеют форму пластин, изготовленных методом порошковой металлургии), позволяют упростить проблему создания многополюсной машины с высоким моментом. Реально, количество полюсов синхронных машин меньше, а скорость больше указанных в табл. 1.1. Много лифтовых компаний - производителей выпускают двигатели с ротором увеличенного диаметра, но «плоской», или «дисковой» формы. Такая инновационная машина предъявляет особые требования к системе управления и особенностям ее эксплуатации [7]. Другим решением проблемы может быть применения специальных конструкций двигателей постоянного тока с безобмоточным якорем, или индукторных вентильных двигателей.

Для решения проблемы создания тихоходных двигателей можно воспользоваться следующим подходом: для лифта заданной грузоподъемности и со сравнительно большой скоростью, например 2,5 м/с, разрабатывается двигатель с достаточно «удобной, не очень проблемной» для проектирования скоростью, например 300 об/мин или более. Для лифта той же грузоподъемности, но со скоростью 1,6 м/с присваивают этому двигателю новую искусственную номинальную скорость 192 об/мин., а для лифта 1 м/с - соответственно 120 об/мин. Преобразователь частоты без проблем обеспечивает эти скорости. Такой подход оправдывает себя относительно габаритов и массы двигателя. Специально спроектированный двигатель с номинальной скоростью 120 об/мин. будет тяжелее двигателя с тем же моментом и номинальной скоростью 300 об/мин. С точки зрения регулирования,

этот подход также является приемлемым, поскольку современные управляемые электроприводы имеют большие диапазоны регулирования скорости и изменение этого диапазона в несколько раз не снижает качество регулирования.

Таким образом, одному и тому же двигателю, в зависимости от требований, «присваиваются» разные номинальные значения скорости и мощности. Этот подход не нов, а напоминает аналогичную ситуацию для двигателей, которые работают в повторно - кратковременном режиме S3, когда один и тот же двигатель имеет разные номинальные данные, в зависимости от параметра продолжительности включения. Практическая польза заключается в том, что такой двигатель, например для лифта со скоростью движения кабины 1 м/с, будет иметь намного лучшие масса - габаритные показатели сравнительно со специально спроектированным двигателем.

Другое дело относительно энергетических показателей двигателя, и здесь есть серьезный негатив [8]. При работе с постоянным моментом снижения скорости управляемого электропривода постоянного или переменного тока приводит к уменьшению мощности и соответствующему уменьшению КПД. Если предположить, что при номинальном моменте при снижении скорости сохраняются номинальные потери мощности, а это является свойством современных управляемых электроприводов, то новое значение номинального КПД двигателя  $\eta_{\text{шн}}$  имеет зависимость от диапазона снижения номинальной скорости:

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

где  $D_{\text{зн}}$  – диапазон искусственного снижения номинальной скорости;  $\eta_n$ ;  $\eta_{\text{шн}}$  - паспортный номинальный КПД двигателя, и КПД при работе на искусственной номинальной скорости.

Выражение (1) позволяет прогнозировать допустимую степень снижения скорости серийного двигателя. Например, если номинальный КПД серийного двигателя составляет 90%, то при  $D_{\text{зн}} = 8$  он снижается до 53%, что уже меньше результирующего КПД существующих лебедок с червячным редуктором. Если номинальный КПД двигателя составляет 80%, то уже при диапазоне снижения номинальной скорости  $D_{\text{зн}} = 4$ , КПД двигателя снижается до 50%. Именно такими значениями диапазонов уменьшения искусственной номинальной скорости оперируют большинство производителей. Некоторые производители этого не скрывают и указывают сниженные в несколько раз частоты напряжения приводных двигателей. Другие, очевидно понимая, что этот показатель отрицательный, эти данные не

приводят. Для устранения недоразумений, для лебедки данного конкретного лифта, необходимо детально проанализировать информацию о номинальных и искусственных значениях скорости и КПД.

#### ВЫВОДЫ:

1. При создании инновационных безредукторных лебедок актуальным является потребность в тихоходных приводных двигателях со скоростями порядка 40 - 80 об/мин. Выполнить такие двигатели при традиционных подходах, и при приемлемых массе и габаритах, на сегодняшний день, невозможно. Практические решения с удовлетворительными показателями достигаются за счет технических решений, которые значительно облегчают требования к минимальной скорости, и доводят ее в до 500 - 750 об./мин. Не все эти технические решения можно признать удовлетворительными.

2. В лебедках многих производителей лифтов, при удовлетворительных массогабаритных показателях, применяется широкое варьирование пониженными скоростями приводных двигателей, что приводит к значительному ухудшению энергоэффективности лебедок. Использование серийных тихоходных двигателей, например на 500 - 600 об/мин., в нижнем диапазоне скорости приводит к значительному снижению энергетических показателей, которое дискредитирует идею создания безредукторных лебедок.

3. С учетом дефицита и стоимости редкоземельных элементов, нуждаются в дальнейшем развитии приводные лифтовые электрические двигатели, альтернативные, синхронным с постоянными магнитами: асинхронные, постоянного тока с безобмоточным ротором, вентильные, индукторные и другие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лифты. Учебник для вузов / под общей ред. Д. П. Волкова. - М.: изд-во АСВ, 1999. - 480с.
2. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. 360 с.
3. Архангелский Г. Г., Ионов А.А. Основы расчета и проектирования лифтов. Учебное пособие. М.: МИСИ, 1985. - 74 с.
4. Яновски Л., Бабичев С.Д. Проектирование механического оборудования лифтов. Третье издание. Изд. АСВ, 2005. - 156 с.
5. Афонин И.В. К вопросу о безредукторных приводах лифтов // Лифт №6, 2009. С.53 - 57.

6. Гольдберг О.Д., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин. Изд 3, переработанное М.: Высшая школа, 2006. - 431 с.

7. Булгар В.В. Применение двигателей постоянного тока с безобмоточным ротором в низкоскоростных безредукторных электроприводах. /В.В. Булгар, Д.А. Ивлев // Труды Одесского политехнического университета. 2010. №1(33)-2(34) – С.99-104.

8. Андрущенко О.А., Бойко А.О., Бабийчук О.Б. Анализ энергетической эффективности электроприводов пассажирских лифтов // Вісник НТУ «ХП». Випуск 28. “Проблеми АЕП. Теорія і практика”, 2010. – С. 503 – 504.