

## АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ

Лифтовое хозяйство Украины в настоящее время насчитывает почти 100 тысяч пассажирских лифтов. Более одной трети из них уже отработали свой расчетный срок эксплуатации, поэтому проблема замены и модернизации пассажирских лифтов является актуальной.

При выборе любого пути решения этой проблемы, нужно четко представлять, каким должен быть современный пассажирский лифт, каким требованиям он должен отвечать, особенно в части энергоэффективности. В этом смысле существует очевидное требование – лифт должен иметь современный регулируемый энергоэффективный электропривод, который обеспечивает быстрое, комфортное и экономичное перемещение груза.

Более радикальным шагом на пути повышения энергоэффективности является отказ от механического редуктора. Это значительно повышает общий КПД механизма и обеспечивает относительное перераспределение инерционных масс механизма и электропривода в сторону уменьшения влияния последнего, что также повышает эффективность электромеханического преобразования энергии в переходных процессах пуска и торможения. Главной проблемой здесь является практическое отсутствие тихоходных, от 100 до 150 об/мин, приводных двигателей в диапазоне мощностей до 20 кВт. В последние годы появились теоретические разработки и экспериментальные образцы таких двигателей, с достаточно привлекательными параметрами по КПД, массе и габаритам, и, что важно, с беспрецедентно малыми моментами инерции ротора [1].

В работе рассматривается энергетическая эффективность различных систем электропривода на примере пассажирского лифта грузоподъемностью 1000 кг, и скоростью 1,6 м/с. Для анализа выбраны следующие системы электроприводов: 1 – двухскоростной асинхронный двигатель с релейно-контакторным управлением (РКУ-АД); 2 – двухскоростной асинхронный двигатель с тиристорным преобразователем напряжения (ТПН-АД); 3 – односкоростной асинхронный двигатель с преобразователем частоты (ПЧ-АД); 4 – инновационный вариант вентильного двигателя постоянного тока с дисковым ротором и широтно-импульсным преобразователем напряжения (ШИП-ДПТДР). Учитываются также два варианта механической передачи: традиционная с червячным редуктором и полиспастом и безредукторная с установкой канатоведущего шкива на валу двигателя [2]. Принимаем, что все указанные системы, кроме РКУ-АД, одинаково успешно обеспечивают заданные параметры комфортности поездки (ограничение ускорения и рывка до заданной величины).

Оценка энергетической эффективности производилась для установившегося режима подъема номинального груза с номинальной скоростью и разгона до номинальной скорости в сторону подъема кабины с номинальным грузом. Во всех случаях за базовую величину принималась полезная энергия по подъему номинального груза и энергия, затрачиваемая для разгона номинального груза. Уточнение энергетической эффективности производилось по результатам расчетов, выполненных с учетом параметров пассажиропотока при круговом цикле поездки в утреннем и вечернем режимах работы лифта, установленного в подъезде 16 – этажного жилого дома.

**Энергетика установившегося режима.** В качестве полезных рассматриваем мощность и энергию, расходуемые непосредственно для перемещения полезного груза. Остальные затраты – это потери в канатной передаче ( $\eta_{кп}=95\%$ ), в редукторе ( $\eta_{кп}=75\%$ ) и в двигателе. КПД двигателей указаны в табл. 1. КПД всех полупроводниковых преобразователей приняты 97%. В качестве базового принят наиболее распространенный в настоящее время вариант электропривода РКУ-АД. И в установившихся и в переходных процессах энергетическая эффективность этой системы и системы ТПН-АД практически одинаковы. В редукторном варианте преимущество имеют системы ПЧ-АД и ШИП-ДПТДР, поскольку их двигатели имеют больший КПД, по сравнению с КПД двухскоростного асинхронного двигателя. В безредукторном варианте КПД лифта существенно повышается за счет устранения наименее эффективной ступени преобразования энергии – червячного редуктора. Вместе с тем, принципиально экономичный электропривод ПЧ-АД проигрывает инновационному варианту из-за повышенных потерь в тихоходном асинхронном двигателе. В полной мере энергетическая эффективность безредукторного лифта реализуется в варианте ШИП-ДПТДР, в котором КПД увеличивается от 61,3% до 85,7%. Обратим внимание также на то, что двигатель в системе ПЧ-АД в 2,3 раза тяжелее, а ДПТДР несколько легче двигателя базового варианта.

**Энергетика переходного процесса пуска.** Кинетическую энергию, накопленную массой груза за время пуска и работу по перемещению груза на пути разгона рассматриваем как полезную. Кинетическую энергию, накопленную приводными двигателями, кабиной, противовесом, шкивами и блоками рассматриваем как потери и объединяем с потерями во всех ступенях преобразования энергии.

В редукторном электроприводе конкурирующие системы электропривода отличаются только инерционностью роторов двигателей, что дает некоторое, до 4%, преимущество инновационному варианту. Более существенны различия в энергетике этих систем в безредукторном исполнении. Благодаря значительной разнице моментов инерции роторов двигателей различие в КПД составляет 6,4%. В целом КПД режима пуска инновационного варианта тихоходного электропривода повышается по сравнению с базовым с 15,8% до 51,9%.

Таблица 1. – Энергетическая эффективность пассажирского лифта с различными типами электропривода и механической передачи

Тип механической передачи	Редуктор и полиспаст			Полиспаст	
	Базов. вар.	Быстроходный		Тихоходный	
		ПЧ-АД	ШИП-ДПТДР	ПЧ-АД	ШИП-ДПТДР
Частота вращения двигателя, об/мин	1500	1500	1500	160	150
Мощность приводного двигателя, кВт	17	18,5	16	12	16,6
КПД приводного двигателя, %	86	90	90	81	90
Масса приводного двигателя, кг	360	165	99	836	300
Момент инерции двигателя, кгм <sup>2</sup>	0,64	0,18	0,033	1,7	0,79
Установившийся режим перемещения номинального груза					
КПД лифта, %	61,3	64,1	64,1	77,1	85,7
Переходный процесс пуска лифта с номинальным грузом					
КПД лифта, %	15,8	31,6	35,5	45,5	51,9

Известно, что во многих электроприводах, особенно в редукторном исполнении, главной инерционной частью является ротор двигателя, что приводит к неудовлетворительной энергетике переходных процессов пуска и торможения, так как энергия расходуется главным образом не на механизм, а на сам приводной двигатель. В механизме пассажирского лифта, кроме груза и ротора двигателя, значимыми накопителями энергии являются также детали механизма - кабина, противовес, редуктор, шкивы и блоки. Так, если принять за единицу кинетическую энергию груза, то для всех вариантов кинетическая энергия кабины и противовеса составляет 2,5; шкивов и блоков 1,43; редуктора 0,92. На этом фоне самым инерционным выглядит ротор двигателя базового варианта - 6,16. С переходом к односкоростному двигателю в системе ПЧ-АД эта цифра уменьшается до 1,73, а в приводе ШИП-ДПТДР до 0,318. Наиболее благоприятное изменение этого соотношения наблюдается в вариантах безредукторного электропривода: до 0,38 в системе ПЧ-АД и до 0,076 в системе ШИП-ДПТДР.

**Энергетика электропривода с учетом параметров пассажиропотока.** Учитываются направления движения пассажиров в утренние и вечерние часы, вероятностные показатели загрузки кабины и количества остановок, интервалы времени на открытие и закрытие дверей, вход и выход пассажиров [3]. Моделируются разгон и торможение по оптимальной комфортной диаграмме движения и установившийся режим, учитывается возможность рекуперации энергии. К рассмотрению приняты три системы электропривода: базовая и перспективные безредукторные системы ПЧ-АД и ШИП-ДПТДР. Как видно из табл. 2, безредукторный регулируемый электропривод обеспечивает значительную экономию электрической энергии по сравнению с базовым вариантом: ПЧ-АД в 3 раза, инновационный вариант в 4,76 раза. В идеальном случае с рекуперацией энергии в утреннем цикле поездки инновационный вариант приближается к нулевому потреблению электрической энергии.

Таблица 2 – Энергия, потребляемая электроприводами в утреннем и вечернем циклах движения лифта

Система электропривода	Утренний цикл поездки, Дж	Вечерний цикл поездки, Дж	Сумма двух циклов, Дж
ТПН-АД	$3,416 \cdot 10^5$	$5,43 \cdot 10^5$	$8,846 \cdot 10^5$
ПЧ-АД	9900	$2,88 \cdot 10^5$	$2,979 \cdot 10^5$
ШИП-ДПТДР	$-3,936 \cdot 10^4$	$2,252 \cdot 10^5$	$1,858 \cdot 10^5$

### Выводы

1. Во всех режимах работы лифта безредукторный регулируемый электропривод имеет значительно лучшую, (в 3-4 раза), энергетическую эффективность по сравнению с редукторными системами.
2. Среди рассмотренных безредукторных электроприводов наиболее совершенной следует признать систему широтно-импульсный преобразователь – вентильный двигатель постоянного тока с дисковым ротором.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Булгар В.В., Ивлев А.Д., Яковлев А.В. Высокомоментный двигатель постоянного тока с комбинированным возбуждением, Міжвідомч. наук.- техн. збірник «Електромашинобудування та електрообладнання» К: «Техніка», 2006, С. 241-242.
2. Андриющенко О.А., Булгар В.В., Семенюк В.Ф. Пассажирский лифт как электромеханическая система. Перспективы и проблемы совершенствования энергетических показателей. «Подъемные сооружения. Специальная техника» №2, 2010 г., С 23-28.
3. Подъемники: учеб. пособие для машиностр. специальностей вузов / З.М. Федорова, И.Ф. Лукин, А.П. Нестеров ; ред. : З.М. Федорова. - Киев : Вища школа, 1976. - 294 с.