

тепла. После замыкания фрикциона управление давлением $p_{\text{ц}}$ прекращается и его значение поднимается до номинального уровня $p_{\text{ном}}$. Из выражений видно, что основными аргументами изменения характеристик управления фрикционом в процессе его включения являются относительная скорость скольжения фрикционных $\omega_{\text{ск}}$ дисков, рад/с и $t_{\text{ср}}$ – время срабатывания фрикциона.

Л и т е р а т у р а

1. Тарасик, В. П. Алгоритм управления фрикционами автоматической планетарной коробки передач / В. П. Тарасик, О. В. Пузанова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 3 (72). – С. 59–68.

УДК 622.242.5

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПРИВОДОВ БУРОВЫХ ЛЕБЕДОК: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Ю. И. Железнякова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

Представлены аналитический обзор электрических и гидравлических приводов буровых лебедок и сравнение их по трем ключевым параметрам: надежность, производительность и стоимость. Приведены характеристики различных типов приводов, описаны их преимущества и недостатки, а также проанализированы факторы, влияющие на выбор оптимального решения в зависимости от специфики буровых работ. На основе анализа даны рекомендации по выбору типа привода для обеспечения максимальной эффективности и экономической целесообразности буровых операций.

Ключевые слова: приводы лебедок, буровое оборудование.

EFFICIENCY AND COST-EFFECTIVENESS OF DRILL WINCH DRIVES: A COMPARATIVE ANALYSIS

Yu. I. Zheleznyakova

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Scientific supervisor D. L. Stasenko

This article presents an analytical review of electric and hydraulic drawworks drives and compares them based on three key parameters: reliability, performance, and cost. The review presents the characteristics of various drive types, describes their advantages and disadvantages, and analyzes the factors influencing the selection of the optimal solution depending on the specific drilling operations. Based on this analysis, recommendations are provided for selecting a drive type to ensure maximum efficiency and cost-effectiveness of drilling operations.

Keywords: winch drives, drilling equipment.

Приводы в буровых лебедках играют ключевую роль в процессе бурения, обеспечивая подъем, опускание и вращение бурового инструмента. Выбор конкретного типа привода зависит от множества факторов, включая требования к производитель-

ности, условия эксплуатации, доступность ресурсов и бюджетные ограничения. Электрические (рис. 1) и гидравлические (рис. 2) приводы наиболее популярны благодаря своей высокой эффективности и надежности, что делает их предпочтительными для большинства современных буровых операций.



Рис. 1. Схема электрической буровой лебедки

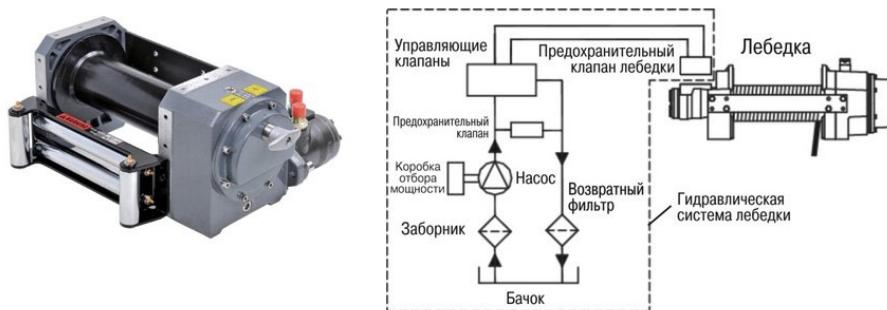


Рис. 2. Схема гидравлической буровой лебедки

Асинхронные двигатели и частотно-регулируемые приводы могут выходить из строя из-за перегрева, особенно при работе с высокими крутящими моментами и низкими скоростями, а также в условиях повышенной влажности и загрязненности. Для двигателей может потребоваться система водяного охлаждения, в то время как частотно-регулируемый привод для решения этих проблем должен находиться в закрытом пространстве, что увеличивает затраты. Гидравлические приводы, в свою очередь, обеспечивают высокую надежность, поскольку масло может сжиматься и поглощать удары. Они также имеют низкий уровень трения благодаря смазке различных компонентов трансмиссии, что помогает отводить избыточное тепло. Гидравлические приводы не подвержены усталости при прерывистых, непостоянных или низкоскоростных/высококрутящих режимах работы. Надежность электрических лебедок также может быть высокой, если учитывать общий срок службы привода из-за меньшего количества движущихся частей. Однако в некоторых случаях возможны сбои в работе компонентов электрической системы, таких как частотно-регулируемые приводы, источники питания и контроллеры. Электрические лебедки демонстрируют значительно более высокий КПД (85–95 %) по сравнению с гидравлическими (60–75 %). Это связано с минимальными потерями энергии при преобразовании электричества в механическую работу. Кроме того, электрические системы

могут рекуперировать до 20–30 % энергии при торможении или опускании груза, что дополнительно повышает их энергоэффективность. В то же время гидравлические системы теряют до 25–40 % энергии из-за трения в трубопроводах, насосах и клапанах, а также из-за зависимости вязкости жидкости от температуры [1].

Меньшее количество движущихся частей в электроприводах означает, что они требуют реже технического обслуживания, хотя выявление проблем может быть сложнее, а для восстановления необходим высококвалифицированный персонал. Время ремонта часто увеличивается, так как замена компонентов требует наличия запасных частей, которые могут быть ограничены определенными поставщиками. В отличие от этого гидравлические приводы нуждаются в регулярном техническом обслуживании, однако сменные компоненты для них доступны в широком ассортименте. Электроприводы часто рассматриваются как наиболее экологически чистый вариант, поскольку они минимизируют риск разлива нефти, обеспечивают высокую энергоэффективность и значительно снижают уровень шума. Электрические лебедки, несмотря на более высокую начальную стоимость, оказываются более экономичными в долгосрочной перспективе. Затраты на электроэнергию для электрических систем на 20–30 % ниже благодаря их высокой энергоэффективности. Например, для лебедки мощностью 100 кВт, работающей 2000 ч в год, затраты на электроэнергию составят около 17 000 \$/год – для электрической системы и 18 000 \$/год – для гидравлической (с учетом дополнительных расходов на обслуживание) [2].

В плане производительности электрические системы обладают существенным преимуществом, поскольку они обеспечивают высокоточное управление крутящим моментом и скоростью. Точность позиционирования составляет $\pm 1\text{--}2$ мм, а скорость реакции – 0,1–0,5 с. Для гидравлических систем эти показатели составляют $\pm 5\text{--}10$ мм и 0,5–1 с соответственно. Это позволяет лебедкам с электроприводом поднимать грузы быстрее, чем с гидравлическими приводами. Кроме того, электрические приводы способны функционировать в широком диапазоне температур – от -40 до $+45$ °C, тогда как эффективность гидравлических систем сильно зависит от состояния масла. Масло в гидравлических системах должно соответствовать строгим требованиям по температуре и загрязнениям. Например, слишком высокая или низкая температура может изменить физические свойства масла, что негативно скажется на работе системы. Это может потребовать установки дополнительных нагревателей или системы охлаждения. Также масло должно иметь определенный уровень очистки от воды и загрязнений, чтобы избежать сбоев, что подразумевает необходимость его фильтрации перед использованием.

При сравнении габаритов электрических и гидравлических буровых лебедок для одинакового крутящего момента (например, 50 кН · м) очевидны существенные различия. Электрические лебедки, как правило, более компактны. Их длина составляет 2–3 м, ширина – 1–1,5 м, а высота – 1,5–2 м. Это связано с меньшими размерами электродвигателя и возможностью компактной интеграции системы управления. Общая площадь, занимаемая электрической лебедкой, обычно не превышает 2–4,5 м². Гидравлические лебедки, напротив, отличаются большими габаритами. Их длина достигает 3–4 метров, ширина – 1,5–2 м, а высота – 2–2,5 м. Это обусловлено крупными размерами гидромотора и необходимостью размещения дополнительного оборудования, такого как гидравлические насосы, резервуары и трубопроводы. В результате общая площадь, занимаемая гидравлической лебедкой, может составлять 4,5–8 м².

Гидравлические приводы обычно имеют низкую первоначальную стоимость, в то время как электроприводы, как правило, окупают свою более высокую цену в долгосрочной перспективе. Общие затраты также зависят от веса и габаритов оборудования, поэтому производители стремятся к более компактным и легким решениям. Считается, что электроприводы занимают меньше места по сравнению с гидравлическими, однако их размеры могут варьироваться в зависимости от конкретных условий применения. Электроприводы часто требуют дополнительных компонентов, таких как механические тормоза, системы охлаждения, трансформаторы и аккумуляторы, которые увеличивают занимаемое пространство. Кроме того, электродвигатели обычно имеют большие размеры и высокую инерцию, что стимулирует разработку технологий для уменьшения их габаритов. Гидравлические приводы, в свою очередь, могут обеспечивать динамическое торможение при наличии клапанов сброса давления. Гидравлические аккумуляторы являются более компактной и экономичной альтернативой аккумуляторным батареям для временного хранения энергии. Гидравлические двигатели также способны генерировать больший крутящий момент при меньшей инерции, что позволяет им занимать меньше места в точке срабатывания и обеспечивать быстрое ускорение, необходимое для выполнения задач с высокой динамикой. Однако гидравлические силовые установки, используемые в системах открытого контура, часто занимают значительное пространство и имеют большую массу, что увеличивает затраты, особенно из-за дороговизны монтажа трубопроводов по сравнению с прокладкой электрических кабелей, которые также требуют минимального времени для тестирования.

В исследовании были рассмотрены ключевые характеристики электрических и гидравлических приводов, включая их надежность, обслуживание, производительность и стоимость. Результаты показали, что электрические приводы набирают популярность благодаря высокой энергоэффективности (КПД – 85–95 % против 60–75 % – у гидравлических) и точному управлению крутящим моментом и скоростью. Они также требуют меньше обслуживания, однако восстановление системы в случае поломки может быть сложным и дорогостоящим. Срок службы электрических лебедок – выше (15–20 лет против 10–15 лет). В то же время гидравлические приводы остаются востребованными благодаря своей надежности, низким затратам на обслуживание и способности генерировать значительные крутящие моменты. Электрические лебедки выигрывают по компактности, что делает их более подходящими для условий, где важно минимизировать занимаемое пространство. Гидравлические лебедки, хотя и менее компактны, могут быть предпочтительны в случаях, когда их начальная стоимость и простота монтажа перевешивают недостатки, связанные с габаритами. Что касается общей стоимости приводов для лебедок, единого мнения нет. Гидравлические приводы часто имеют более низкую начальную стоимость, тогда как электрические приводы, как ожидается, могут окупить свою более высокую цену за счет экономии энергии в долгосрочной перспективе. Однако итоговая стоимость зависит от множества факторов, которые могут значительно варьироваться в зависимости от конкретных условий применения.

Л и т е р а т у р а

1. Angelis, V. D. Comparison study of electric, electro-hydraulic, and hydraulic drive science winches / V. D. Angelis, E. Meeting. – 2009. – 22 p.
2. Pawlus, W. Hydraulic vs. Electric: A Review of Actuation Systems in Offshore Drilling Equipment / W. Pawlus M. Choux, M. R. Hancen // Modeling, Identification and Control. – 2016. – N 37 (1). – P. 1–17.