

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЛЕБЕДОК ПО СИСТЕМАМ ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ - АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

УДК  
621.3.067:  
622.242.5

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY ELECTRIC MOTOR DRIVE OF DRAW WORKS ON SYSTEMS THYRISTOR CONVERTER TO DIRECT-CURRENT MOTOR AND FREQUENCY CONVERTER TO ASYNCHRONOUS MOTOR

**В.И. Бабакин, О.Г. Кондрашова,  
А.Р. Зайдуллин**

**ФГБОУ ВПО Уфимский  
государственный авиационный  
технический университет**

**V.I. Babakin, O.G. Kondrashova,  
A.R. Zaydullin**

**FSBEI Ufa state aviation technical  
university**

Наиболее перспективными вариантами электропривода буровых установок являются системы: тиристорный преобразователь-двигатель постоянного тока и частотный преобразователь-асинхронный двигатель.

В работе производится сравнение выше перечисленных вариантов по энергетической эффективности отдельно при спуске и при подъеме колонны буровых труб, а также суммарно при спуско-подъемных операциях. При этом сравнительный анализ проводится для разных весов на крюке буровой лебедки.

Полученные результаты могут быть использованы при выборе оптимального типа электропривода буровых лебедок.

Now days the most promising options of electric motor drive of drill rigs are the systems thyristor converter to directcurrent motor and frequency converter to asynchronous motor. This research compares two given variants in their energy efficiency during the descent and rise of drill pipes string, summary during the round-trip operations too. In this case the comparative analysis is for different weights on hook of draw works.

The results obtained can be used for choice of optimal type of draw works electric motor drive.

*Ключевые слова буровая лебедка, тиристорный преобразователь, двигатель постоянного тока, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, спускоподъемные операции*

*Key words: draw works, thyristor converter, direct-current motor, frequency converter, synchronous motor, round-trip operations.*

В настоящее время регулируемые электроприводы буровых установок выполняются по системам тиристорный преобразователь — двигатель постоянного тока (ТП-ДПТ) и преобразователь частоты — асинхронный двигатель (ПЧ-АД), которые в процессе работы кроме активной мощности потребляют также и реактивную мощность.

Привод буровой лебедки работает, как в двигателе, так и в генераторном (тормозном) режимах, при этом он обеспечивает подъем грузов, интенсивное торможение с допустимым ускорением при движении на подъём, разгон с допустимым ускорением в направлении спуска (силовой спуск) и тормозной спуск. При работе в тормозных режимах двигатель лебедки работает в генераторном (рекуперативном) режиме, и энергия торможения отдается в питающую сеть.

Алгоритм расчета параметров электропривода лебедок при спускоподъемных операциях [3] выглядит следующим образом [3]:

Момент сопротивления при подъеме данного веса колонны буровых труб, приведенный к валу двигателя

$$M_{сп.} = \frac{D_{бр.}}{2} \cdot \frac{Q}{i_{пер.} \cdot i_{тс.} \cdot \eta_{пер.} \cdot \eta_{тс.}}, \quad (1)$$

где  $D_{бр.}$  – расчетный диаметр барабана;  
 $i_{тс.}$  – передаточное отношение талевой системы;  
 $i_{пер.}$  – передаточное отношение передачи;  
 $\eta_{тс.}$  – КПД талевой системы;  
 $\eta_{пер.}$  – КПД передачи (от подъемного вала до двигателя)

Момент сопротивления при спуске данного веса колонны буровых труб, приведенный к валу

$$M_{сс} = \frac{D_{бр.}}{2} \cdot \frac{Q \cdot \eta_{тс.} \cdot \eta_{пер.} \cdot 0,85}{i_{тс.} \cdot i_{пер.}}, \quad (2)$$

Ток якоря двигателей лебедки при установившемся движении в первой зоне регулирования

$$I_d = I_{дв.}^{ном.} \cdot \frac{M_c}{M_{дв.}^{ном.}}, \quad (3)$$

где  $M_c$  – момент сопротивления, приведенный к валу двигателя на соответствующей передаче, Н·м.

Ток якоря двигателя лебедки при установившемся движении во второй зоне регулирования

$$I_d = I_{дв.}^{ном.} \cdot \frac{M_c}{M_{дв.}^{ном.}} \cdot \frac{\omega_{дв.}}{\omega_{дв.}^{ном.}}, \quad (4)$$

Напряжение, подводимое к двигателю лебедки, в установившемся режиме

– при работе в первой зоне

$$U_{дв.} = U_{дв.}^{ном.}$$

– при работе во второй зоне

$$U_{дв.} = U_{дв.}^{ном.} \cdot \frac{\omega_{дв.}}{\omega_{дв.}^{ном.}} \quad (5)$$

Мощность, потребляемая двигателем лебедки

$$P_{дв.} = U_{дв.} \cdot I_{дв.} \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

Мощность потерь в сопротивлении якорной цепи для ДПТ

$$\Delta P_{я} = I_{д.}^2 \cdot r_{я.ц.} \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

где  $r_{я.ц.}$  – активное сопротивление якорной цепи двигателя постоянного тока независимого возбуждения [1].

Мощность потерь в сопротивлении статорной цепи для АД

$$\Delta P_c = I_d^2 \cdot r_c \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

где  $r_c$  – активное сопротивление статорной цепи асинхронного двигателя [2].

Мощность потерь в сопротивлении роторной цепи для АД

$$\Delta P_p = I_d^2 \cdot r_p \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

где  $r_p$  – активное сопротивление роторной цепи асинхронного двигателя [2].

Потери на возбуждение двигателя лебедки для ДПТ

$$\Delta P_v = I_v^2 \cdot r_v \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

где  $I_v$  – ток возбуждения двигателя при номинальной скорости;

$r_v$  – сопротивление обмотки возбуждения привода лебедки [1].

Активная мощность, потребляемая приводом лебедки из сети для ДПТ

$$P_{леб.уст.} = P_{дв.} + \Delta P_{я} + \Delta P_n + \Delta P_v + \Delta P_{вент.} + \Delta P_{тр.} \quad (11)$$

где  $\Delta P_{pn}$  – постоянные потери в двигателе;

$\Delta P_{вент.}$  – потери на вентиляцию;

$\Delta P_{тр.}$  – потери в стали преобразовательного трансформатора [1].

Активная мощность, потребляемая приводом лебедки из сети для АД

$$P_{леб.уст.} = P_{дв.} + \Delta P_c + \Delta P_p + \Delta P_n + \Delta P_{вент.} + \Delta P_{тр.} \quad (12)$$

Результаты расчета энергетической эффективности электроприводов лебедки по системам ТП-ДПТ и ПЧ-АД в режиме установившегося подъема сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Параметры электроприводов буровой лебедки в режиме подъема

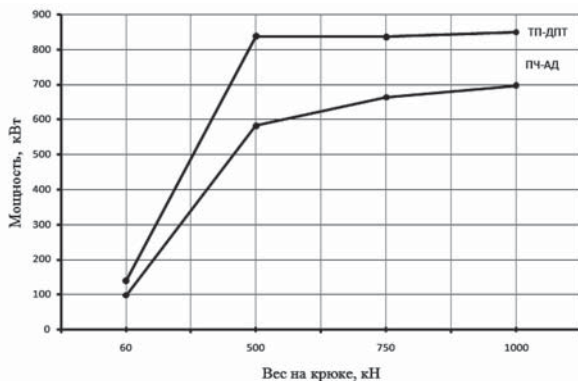
Наименование параметра	Значение							
	ТП-ДПТ				ПЧ-АД			
	60	500	750	1000	60	500	750	1000
Вес на крюке, кН	60	500	750	1000	60	500	750	1000
Момент статический на валу двигателя, кН·м	0,67	5,58	8,37	11,16	0,868	7,25	10,87	14,50
Установившаяся скорость подъема, рад/с	157	136	90	65	157	136	90	65
Ток якоря при установившемся подъеме, А	139	1002	1156	1541	91	670	1038	1247
Напряжение на двигателе, В	800	800	688	520	690	690	553	468
Угол сдвига между напряжением и током, град	26,47	20,17	35,26	49,77	25,67	21,27	33,36	51,87
Мощность, потребляемая двигателем лебедки, кВт	111,2	801,6	795	801,3	62,8	523,7	574	583,6
Потери в сопротивлении якорной цепи, кВт	0,124	6,45	8,58	15,25	-	-	-	-
Потери на возбуждение, кВт	1,2	2	4,8	4,8	-	-	-	-
Потери в сопротивлении статорной цепи, кВт	-	-	-	-	0,124	6,73	16,16	23,33
Потери в сопротивлении роторной цепи, кВт	-	-	-	-	0,29	15,71	37,71	54,43
Суммарная активная мощность, потребляемая приводом лебедки, кВт	140,3	837,9	836,2	849,2	99,1	582,1	663,8	697,3
Суммарная реактивная мощность, потребляемая приводом лебедки, кВАр	64	303	551	929	48	227	437	875

Результаты расчета энергетической эффективности электроприводов буровой лебедки по системам ТП-ДПТ и ПЧ-АД в режиме установившегося спуска сведены в таблицу 2.

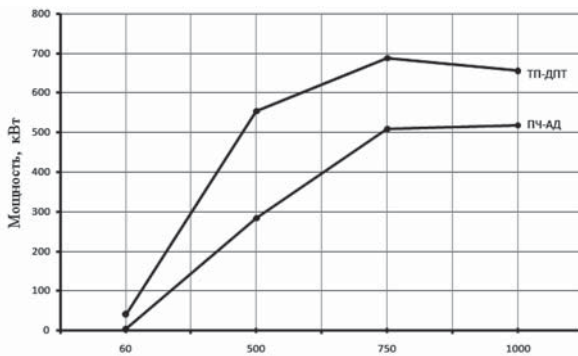
Таблица 2. Параметры электроприводов буровой лебедки в режиме спуска

Наименование параметра	Значение							
	ТП-ДПТ				ПЧ-АД			
	60	500	750	1000	60	500	750	1000
Вес на крюке, кН	60	500	750	1000	60	500	750	1000
Момент статический на валу двигателя, кН·м	0,425	3,54	5,31	7,08	0,553	4,6	6,9	9,2
Установившаяся скорость подъема, рад/с	157	157	129	93	157	157	129	93
Ток якоря при установившемся подъеме, А	88	733	903	978	58	481	834	955
Напряжение на двигателе, В	800	800	800	711	690	690	690	628
Угол сдвига между напряжением и током, град	26,89	22,66	21,3	33,5	25,79	21,96	20,83	32,45
Мощность, потребляемая двигателем лебедки, кВт	70,4	586,5	723	695	40,02	332	575,5	599,4
Потери в сопротивлении якорной цепи, кВт	0,05	3,45	5,23	6,14	-	-	-	-
Потери на возбуждение, кВт	1,2	1,2	1,8	4,8	-	-	-	-
Потери в сопротивлении статорной цепи, кВт	-	-	-	-	0,051	3,47	5,47	13,50
Потери в сопротивлении роторной цепи, кВт	-	-	-	-	0,12	8,10	24,34	31,92
Суммарная активная мощность, потребляемая приводом лебедки, кВт	-41,4	-554,1	-688,2	-656,3	-4,0	-284,5	-510	-518,4
Суммарная реактивная мощность, потребляемая приводом лебедки, кВАр	42	226	263	424	2	115	194	330

Зависимости активной мощности, потребляемой электроприводами буровой лебедки по системам ТП-ДПТ и ПЧ-АД при установившемся подъеме и спуске от веса на крюке, показаны соответственно на рисунках 1 и 2.



**Рисунок 1.** Активная мощность, потребляемая приводами буровой лебедки по системам ТП-ДПТ и ПЧ-АД при установившемся подъеме



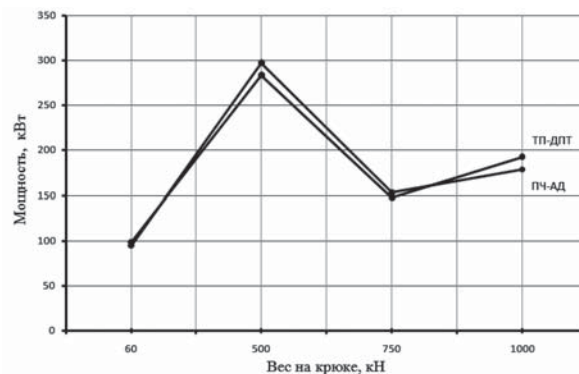
**Рисунок 2.** Активная мощность, генерируемая приводами буровой лебедки по системам ТП-ДПТ и ПЧ-АД при установившемся спуске

Из графика (рисунок 1) видно, что электропривод буровой лебедки по системе ПЧ-АД при подъеме потребляет меньше активной мощности, чем электропривод по системе ТП-ДПТ при одинаковом весе на крюке. К примеру, при весе на крюке в 1000 кН потребление мощности из сети системой ПЧ-АД на 17,89% меньше, чем системой ТП-ДПТ при тех же условиях.

Анализ режима спуска колонны бурильных труб (рисунок 2) показал, что электропривод буровой лебедки по системе ТП-ДПТ генерирует большую активную мощность, чем электропривод по системе ПЧ-АД. При весе на крюке в 1000 кН ТП-ДПТ генерирует в сеть на 21 % больше мощности по сравнению с ПЧ-АД. Результаты расчетов суммарной активной мощности, потребляемой электроприводами буровой лебедки по системам ТП-ДПТ и ПЧ-АД при спускоподъемных операциях, сведены в таблицу 3.

**Таблица 3.** Суммарная активная мощность, потребляемая приводами буровой лебедки по системам ТП-ДПТ и ПЧ-АД при спускоподъемных операциях

Наименование параметра	Значение			
	60	500	750	1000
ТП-ДПТ				
Суммарная активная мощность, потребляемая приводом лебедки при спускоподъемных операциях, кВт	98,9	283,8	148	192,9
ПЧ-АД				
Суммарная активная мощность, потребляемая приводом лебедки при спускоподъемных операциях, кВт	95,1	297,6	153,8	178,9



**Рисунок 3.** Суммарная активная мощность, потребляемая приводами буровой лебедки по системам ТП-ДПТ и ПЧ-АД при спускоподъемных операциях

Анализ полученных результатов показал (рисунок 3), что рассмотренные электроприводы буровых лебедок, при спуске-подъеме до 750 кН веса на крюке потребляют практически одинаковую мощность в установившемся режиме, а при весе на крюке в 1000 кН электропривод лебедки по системе ПЧ-АД потребляет на 7,3% меньше мощности из сети.

Таким образом, применение электропривода буровой лебедки по системе ПЧ-АД при бурении на большой глубине энергетически эффективнее по сравнению с электроприводом по системе ТП-ДПТ и, как следствие экономически выгоднее с точки зрения эксплуатационных затрат.

При подготовке статьи использованы результаты исследований, выполненных при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по комплексному проекту «Разработка и организация серийного производства мощных высоковольтных частотно-регулируемых приводов (ВЧРП)» (договор №13.G25.31.0060).

## ЛИТЕРАТУРА

1. РЭ 44042.04.000.1 Руководство по эксплуатации электрооборудования буровой лебедки БУ 4500/270 ЭК-БМ. Екатеринбург: ЗАО Урало-сибирская промышленная компания, 2006. 2006. 43с.

2. РЭ 44056.04.000.1 Руководство по эксплуатации электрооборудования буровой лебедки БУ 4500/270 ЭК-БМ (Ч). Екатеринбург: ЗАО Урало-сибирская промышленная компания, 2009. 56с.

3. ТП 42.12694 Технический проект. Обеспечение электроснабжения БУ

4500/270 ЭК-БМ от ДЭС. Красноярск, 2005. 80 с.

*Бабакин В.И., канд.техн.наук, доцент кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», ФГБОУ ВПО УГНТУ*

*Babakin V.I., cand.tech.sci., associate professor of chair «Electrical engineer and an electric equipment of the enterprises», FSBEI USPTU*

*Кондрашова О.Г., канд.техн.наук, доцент кафедры «Электротехника и электрообо-*

*рудование предприятий», ФГБОУ ВПО УГНТУ*

*Kondrashova O.G., cand.tech.sci, associate professor of chair «Electrical engineer and an electric equipment of the enterprises», FSBEI USPTU*

*Зайдуллин А.Р., студент кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», ФГБОУ ВПО УГНТУ*

*Zaydullin A.R., student of chair «Electrical engineer and an electric equipment of the enterprises», FSBEI USPTU  
e-mail: valerybabakin@mail.ru*