

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ В СИСТЕМЕ «КОМПЕНСАЦИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДПТ-НВ»

А.И. Зайцев, В.М. Питолин, Е.О. Головинов

Рассматривается способ управления электропривода буровой лебедки. Представлена экономическая оценка от внедрения разрабатываемого электропривода

Ключевые слова: электропривод, моделирование, энергосбережение, регулирование, управление

Буровые лебедки являются основным механизмом спуско-подъемного комплекса буровой установки. Основная функция лебедки – наматывание на барабан, сматывание с барабана и стопорение ведущей струны талевого каната при выполнении следующих операций технологического процесса строительства скважин: спуск и подъем бурильного инструмента, спуск обсадных труб, подача инструмента на забой, передача вращения ротору, подъем и опускание вышки, аварийный подъем инструмента.

По назначению лебедки подразделяются на основные и вспомогательные, а также на универсальные и специализированные. Основные лебедки, как правило, выполняют главную функцию – выполнение спускоподъемных операций с бурильными и обсадными трубами. Вспомогательные лебедки могут выполнять также функции подтаскивания грузов, проведения монтажных работ и т. д. Универсальные лебедки выполняют как основные, так и вспомогательные функции.

Буровая лебедка является основным механизмом буровой установки. В свою очередь, технические характеристики буровой лебедки зависят в основном от применяемого привода. Характерными чертами конструкции и условий работы буровых лебедок, влияющими на выбор электропривода и законов управления электроприводом, являются:

- потенциальный момент нагрузки, который всегда направлен в сторону спуска;
- большой диапазон изменения нагрузки, минимальный вес груза относится к максимальному весу ориентировочно, как 1:40;
- чередующиеся циклы движения под нагрузкой и без нагрузки.

Из характера работы буровой лебедки [1] видно, что ее привод должен быть управляемым во всех четырех квадрантах механической характеристики. При работе в двигательном режиме в I квадранте осуществляется подъем грузов. На заданной высоте талевый блок должен быть остановлен. Для этого привод должен быть переключен в тормозной режим. В режиме торможения при подъеме привод работает во II квадранте механической характеристики. При этом тормозной момент привода должен быть ограничен исходя из допустимого ускорения замедления при подъеме. При работе во II квадранте торможение подъемной системы происходит под действием момента приводного двигателя и груза.

В режиме спуска для быстрого разгона до заданной скорости спуска двигатель должен разгонять барабан лебедки и действовать в одном направлении с грузом. При этом привод работает в двигательном режиме (III квадрант). Это так называемый силовой спуск. При работе в III квадранте момент двигателя должен быть ограничен из условия допустимого ускорения барабана лебедки на спуск. При достижении заданной скорости спуска привод должен переключиться в режим торможения. Движение на спуск осуществляется под действием веса груза, а тормозной момент двигателя поддерживает заданную скорость спуска (привод работает в IV квадранте).

При приближении талевого блока к заданной нижней точке (к разьему ключа) должна быть обеспечена форсировка тормозного момента и талевый блок с грузом должен быть остановлен в заданной точке. Привод должен удерживать груз в неподвижном состоянии до наложения механического тормоза или до посадки колонны на клинья. Для оптимального использования мощности привода и механического оборудования скорость подъема или спуска должна регулироваться обратно пропорционально весу.

Исходя из требований к электроприводу выбираем реверсивный привод постоянного

---

Зайцев Александр Иванович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, e-mail: ai\_zaicev@mail.ru  
Питолин Владимир Михайлович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор, тел. (473) 243-76-78  
Головинов Евгений Олегович – ВГТУ, аспирант, e-mail: ewgoo@rambler.ru

тока с независимой обмоткой возбуждения (4ПС-450-1000УХЛ2 1000кВт, 1000/1500 об/мин) с двухзонным автоматическим регулированием скорости что позволило сократить количество передач до двух. В первой зоне регулирование скорости осуществляется за счет изменения напряжения на якоре двигателя при постоянстве потока (тока возбуждения), во второй - за счет изменения потока (тока возбуждения) при постоянстве напряжения на якоре двигателя. При изменении напряжения на якоре от нуля до номинального значения скорость двигателя также изменяется от нуля до номинальной. При уменьшении потока с номинального значения до минимального скорость двигателя увеличивается с номинального значения до максимального.

Система автоматического управления ЭП буровой лебедки двухзонная [1]. Для плавного регулирования скорости и поддержания сигнала в заданном диапазоне  $\pm 5\%$ , в первой зоне используется двухконтурная система управления, контур тока и подчиненный контур скорости.

При настройке на модульный оптимум передаточная функция регулятора тока имеет следующий вид:

$$R_i(p) = W_i(p)^{-1} \cdot \frac{1}{T_i p} = \frac{T_2 p + 1}{2 \cdot k_n \cdot r_3^{-1} \cdot T_\mu p + 1}.$$

Синтез регулятора скорости производится аналогично контуру тока. При синтезе не учитывается  $m_c$ , т.е. передаточная функция объекта контура скорости имеет вид:

$$W_\omega(p) = \frac{1}{T_i p}.$$

Передаточная функция регулятора скорости определяется:

$$R_\omega(p) = W_\omega(p)^{-1} \cdot \frac{1}{T_\omega p} = \frac{T_j}{T_\omega}.$$

В результате преобразований получаем, что контур скорости выполнен пропорциональным регулятором, при условии настройки на модульный оптимум  $T_\omega = 2T_j = 4T_\mu$

При разработке системы управления для обмотки возбуждения двигателя (ОВД) следует акцентировать внимание на том факте, что индуктивность обмотки возбуждения  $L_\epsilon$  зависит от величины магнитного потока и связанного с ним состояния магнитной системы: находится она в насыщенном или ненасыщенном состоянии. Моделирование ОВД выполнено с учетом кривой намагничивания, которая представлена на рис. 1. При этом было выявлено две харак-

терные точки в номинальном режиме и при ослаблении магнитного потока.

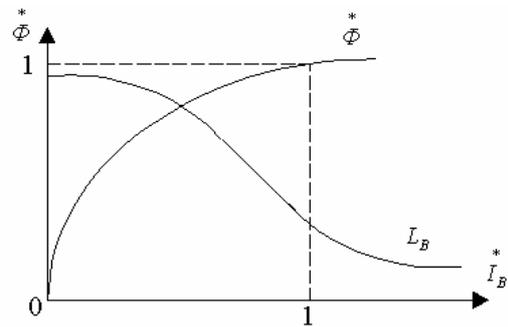


Рис. 1. Кривая намагничивания и индуктивность обмотки возбуждения

Для расчета параметров обмотки возбуждения необходимо аппроксимировать кривую намагничивания полиномом третьей степени:

$$i_M(p) = A \cdot \Psi_m + B \cdot \Psi_m^3.$$

Индуктивность, обусловленная главным потоком машины (в номинальной точке и при ослаблении потока):

$$L_m^o = \frac{1}{A + 3 \cdot B \cdot \Psi_m^2}.$$

В итоге передаточная функция ОВД:

$$W_{OB} = \frac{1}{L_{OB} p + R_{OB}}.$$

Алгоритм управления ЭП буровой лебедки [2] наиболее полно соответствует технологии проводки скважины и является наиболее экономически-выгодным решением. Разработанная математическая модель двухзонного электропривода обеспечивает возможность регулирования ЭП в большом диапазоне нагрузок, а двухконтурная система управления выполняет необходимые требования по устойчивости системы. Структурная схема математической модели ЭП буровой лебедки представлена на рис. 2.

Для цепи якоря построены переходные процессы разгона до максимальной скорости при подъеме максимального груза весом  $Q=2700кН$ . и торможения, для цепи возбуждения построены переходные процессы, иллюстрирующие создание первоначального потока, ослабления поля при подъеме, общие графики переходного процесса, характеризующие работу ЭП в технологическом процессе представлены на рис. 3.

Для более удобной иллюстрации результатов математическая модель ЭП буровой лебедки была разработана в относительных единицах.

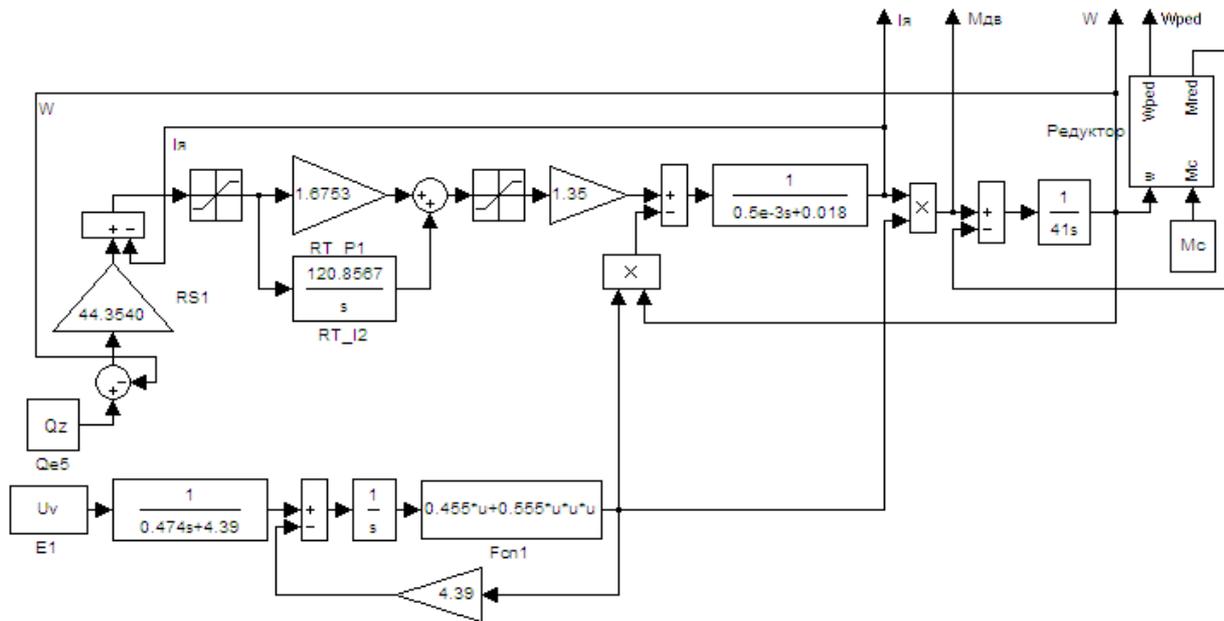


Рис. 2. Структурная модель ЭП буровой лебедки

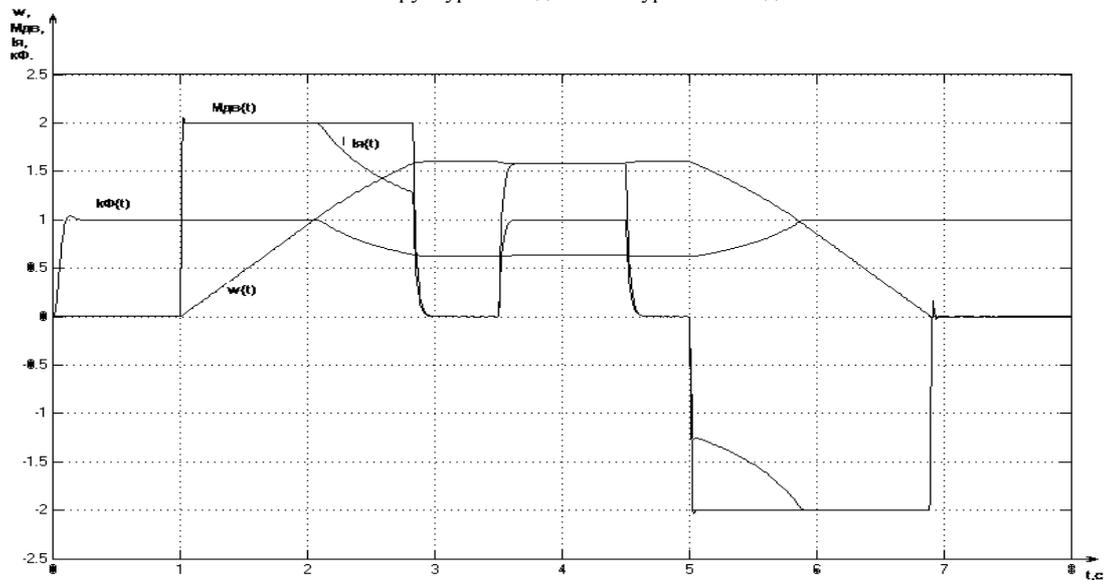


Рис. 3. Графики переходных процессов проходящих при регулировании ЭП

Проведем качественный анализ полученных характеристик. При разгоне ЭП до скорости равной заданию наблюдается незначительное перегуливание равное  $\Delta = 1,06\%$ , что меньше требуемого значения. Данную неточность в регулировании системы можно предотвратить путем использования пропорционально-интегрального (ПИ) в зоне обмотки возбуждения, что позволит обеспечить более точное поддержание скорости. Время разгона ЭП до номинальной скорости составляет  $t_{\text{пп}} = 1$  с, что удовлетворяет требованиям.

Таким образом, разработанная система автоматического регулирования двухзонного ЭП буровой лебедки на основании полученных переходных характеристик проходящих в приво-

де, полностью удовлетворяет технологическим требованиям.

САУ показала свою работоспособность по следующим параметрам:

- полученное время переходного процесса  $t_{\text{пп}}$ , меньше заданного;

- перегуливание оказалось меньше требуемого. Для улучшения качества регулирования было предложено использовать ПИ регулятор, который выводит регулирование на соответствующее качество. Основным показателем при использовании компенсационного выпрямителя в качестве управляемого источника постоянного тока является экономия электроэнергии.

На рис. 4 представлен график потребляемой мощности в компенсационных выпрямителях.

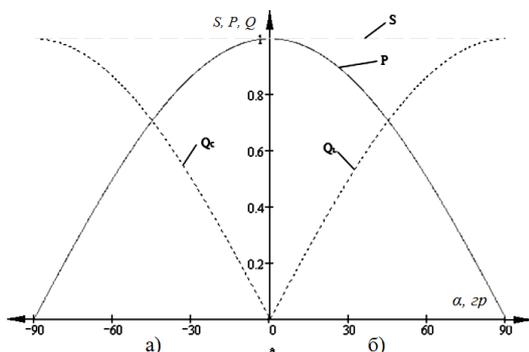


Рис. 4. Графики потребляемой мощности управляемым компенсационным выпрямителем: а) при искусственной коммутации, б) при естественной коммутации

Такое заключение будет верным, если генерируемая реактивная мощность компенсационным выпрямителем не будет расходоваться непосредственно в узле нагрузки, т.е. реактивная мощность в полном объеме будет циркулировать по питающей линии электропередачи, как показано в [3].

В этом случае значение полной мощности, потребляемой компенсационным выпрямителем будет уменьшаться за счет снижения реактивной мощности.

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_c - Q_l)^2} + T^2.$$

Максимальное снижение значения полной мощности будет при равенстве реактивной мощности емкостного характера и реактивной мощности индуктивного характера в узле нагрузки предприятия

$$S = \sqrt{P^2 + T^2}.$$

В процессе использования преобразователя срок окупаемости составит 1,2 месяца, вместе с тем Использование установок компенсации реактивной мощности позволяет: разгрузить распределительные сети и высвободить дополнительную активную мощность за счет сокращения потерь от перетоков реактивной мощности индуктивного характера во всех звеньях системы электроснабжения.

#### Литература

1. Головинов Е.О. Зайцев А.И. Анализ грузоподъемного оборудования буровых установок / Научные технологии и материалы (НМТ-2010): Материалы Региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Воронеж: ВГТУ, 2010. 125 с.
2. Кожин А.С., Головинов Е.О., Зайцев А.И. Система управления компенсационным выпрямителем, для применения в асинхронных частотно-регулируемых электроприводах / Актуальные вопросы современной техники и технологии. Липецк: Издательский центр «Гравис», 2011. 171 - 175 с.
3. Зайцев А.И., Плехов А.С. Силовая промышленная электроника: учеб. пособие. Воронеж: Научная книга, 2008. 252 с.
4. Головинов Е.О. Зайцев А.И. Анализ технологической модели двухзонного электропривода буровой лебедки в системе управляемый выпрямитель – ДПТ-НВ. Севастополь: СевНТУ, 2011. 253с.

Воронежский государственный технический университет

## THE POWER INDICATORS OF THE ELECTRIC DRIVE OF LOAD-LIFTING MECHANISMS IN SYSTEM COMPENSATORY CONVERTER DPT-NV

A.I. Zajtsev, V.M. Pitolin, E.O. Golovinov

The way of management of the electric drive chisel лебёдки is considered. The economic estimation from introduction of the developed electric drive is presented

Key words: the electric drive, modelling, power caretaking, regulation, management