

УДК 62–83–523:550.832:621.876

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КАРОТАЖНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СКВАЖИН

Чернышева Татьяна Александровна¹,
cherta@tpu.ru

Журиков Сергей Александрович²,
GurikovSA @asu-expert.ru

Чернышев Александр Юрьевич¹,
ach@tpu.ru

Чернышев Игорь Александрович¹,
chia@tpu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² ООО «АСУ-ЭКСПЕРТ»,
Россия, 634029, г. Томск, ул. Красноармейская, 51/1.

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания скалярных асинхронных электроприводов каротажных подъемников комплексов визуального контроля технического состояния скважин.

Цель работы: исследование скалярных систем преобразователь частоты – асинхронный двигатель, учитывающих особенности эксплуатации и изменения параметров нагрузки подъемников комплексов геофизического исследования скважин.

Методы исследований основаны на использовании теории автоматического управления и имитационного моделирования в программной среде MatLab–Simulink.

Результаты. Разработана методика расчета нагрузки при спуске и подъеме скважинного прибора, что позволяет более точно определять мощность электропривода подъемника. Разработаны и исследованы асинхронные электроприводы геофизических подъемников со скалярным регулированием скорости. Рассчитаны переходные процессы во всех стандартных режимах работы электропривода каротажного подъемника, а также при захвате геофизического прибора в скважине. Полученные теоретические исследования подтверждены экспериментально при создании электроприводов подъемников установок геофизического исследования скважин.

Выводы. При исследовании скалярных асинхронных электроприводов с частотным регулированием скорости следует учитывать особенности широтно-импульсного регулирования напряжения преобразователя частоты, что позволяет получить более достоверные результаты имитационного моделирования и ускорить процесс настройки электроприводов каротажных подъемников. Установлено, что задержанная отрицательная обратная связь по току в каналах регулирования напряжения и частоты ограничивает действующее значение тока статора асинхронного двигателя с частотным регулированием его скорости во всех штатных и аварийных режимах работы каротажного подъемника. Установлено, что во всех режимах работы электропривода каротажного подъемника нагрузка на валу двигателя активная и, следовательно, при спуске скважинного прибора асинхронный двигатель работает в генераторном режиме с отдачей энергии в тормозные резисторы преобразователя частоты. При длительном спуске скважинного прибора полученные результаты следует учитывать, выбирая тормозные резисторы электропривода повышенной мощности.

Ключевые слова:

Геофизическое исследование скважин, статические нагрузки скважинного прибора, динамические нагрузки скважинного прибора, асинхронный электропривод, скалярное управление, широтно-импульсная модуляция.

Введение

В процессе эксплуатации скважины, а она может находиться в рабочем состоянии десятки лет, её обсадная колонна подвергается различным воздействиям, как механическим, так и действию агрессивного состава скважинной жидкости, которая в глубоких скважинах может находиться под высоким давлением и температурой.

Геофизические исследования в скважинах проводятся с помощью специальных установок, которые включают наземный регистратор и скважинный прибор, соединенные между собой каналом связи – геофизическим кабелем.

Спуск и подъем скважинных приборов осуществляются с помощью подъемника, кабеля, под-

весного и направляющего роликов, устанавливаемых на устье скважины. В зависимости от типа и длины кабеля применяют с лебедками разных размеров и конструкций.

Контролируют техническое состояние скважин методами сканирования, наиболее распространенными из которых являются: ядерно-физические [1–4], электрические и электромагнитные [5], акустические [6–8], магнитометрические [9] методы. Во всех случаях в скважину опускают зонд или скважинный прибор и с его помощью контролируют физические величины и состояние скважины.

Появление мощных светодиодов оптического спектра позволило создать приборы с новыми методами каротажа – с визуальным контролем техниче-



Рис. 1. Измерительный комплекс визуального контроля состояния скважин: 1 – скважинный прибор, 2 – наземный регистратор, 3 – плоские пружины

Fig. 1. Measuring system of visual monitoring of the boreholes: 1 – down hole instrument, 2 – ground-based registrar, 3 – flat springs

ского состояния скважин. Визуальный каротаж применяется в тех случаях, когда скважинная жидкость прозрачная. (Доведение скважинной жидкости до прозрачного состояния возможно путем промыванием скважины.) Для данного метода каротажа научно-производственным объединением «АСУ-ЭКСПЕРТ» разработан и успешно применяется измерительный комплекс КП-511ВК (рис. 1).

Со скважинного прибора 1 в наземный регистратор 2 передается видеосигнал цветного или черно-белого изображения, в зависимости от применяемой видеокамеры. Фиксируют движение скважинного прибора в колонне или скважине плоские пружины 3.

Прибор обеспечивает видеосъемку заданного интервала видеокамерой с разрешающей способностью 550 TV и чувствительностью 0,05 лк. Скважинный прибор и наземный регистратор рассчитан на применение стандартного трехжильного геофизического кабеля длиной до 500 м. Сила света системы освещения не менее 180 кД, степень освещенности объекта регулируется посредством изменения тока светодиодов. С наземного регистратора могут быть заданы уровень освещения, степень сжатия видеосигнала и частота передачи данных.

Перечень дефектов, обнаруживаемых видеосъемкой в процессе сдачи и эксплуатации скважины:

- смятие труб, повреждения в колонне;
- наличие посторонних предметов в скважине;
- обрушение породы в скважине;
- отсутствие сальника между эксплуатационной и фильтровой колоннами;
- деформация надфильтровой трубы;
- наличие песчаной пробки и зернистость материала;
- наличие недоворота муфтовых соединений;
- качество сварных швов и т. д.

Кадры с изображением участков исследованных скважин приведены на рис. 2 и 3.

На фотографии (рис. 2), сделанной с помощью измерительного комплекса КП-511ВК визуального контроля технического состояния скважин об-

наружен посторонний гибкий кабель или трос. Посторонний предмет попал в скважину совсем не случайно. Очевидно, что его наличие не улучшает качество воды при ее заборе из скважины. После исследования скважины трос был удален.



Рис. 2. Гибкий кабель в скважине

Fig. 2. Flexible cable in the borehole



Рис. 3. Обрушение породы. Каверна

Fig. 3. Vug hole. Cavern

На другой фотографии (рис. 3) отчетливо прослеживается обрушение породы в скважине без обсадной колонны. Возможно тампонирующее обрушение породой водоносного слоя и добыча воды с верхних слоев.

Приведенные фотографии свидетельствуют о необходимости периодического контроля технического состояния скважин и необсадных колонн методами визуального контроля.

Расчет нагрузки при подъеме и спуске скважинного прибора

Чтобы правильно выбрать двигатель каротажного подъемника, необходимо определить момент сопротивления при подъеме и спуске геофизического прибора. Значение общего момента сопротивления при движении геофизического прибора в скважине складывается из статического момента $M_c(N)$ и динамического момента $M_d(v)$, приведенных к валу двигателя:

$$M_c = M_c(N) + M_d(v). \quad (1)$$

В отличие от большинства методов геофизического исследования скважин [1–9], осуществляющих контроль при подъеме геофизического прибора, метод визуального контроля состояния скважин предполагает их осмотр при спуске геофизического прибора, так как в этом случае скважина еще не замутнена различными находящимися в ней отложениями. При спуске геофизического прибора на валу двигателя действует статическая активная нагрузка, определяемая выражением

$$M_{cc}(N) = \frac{F_T(N) \cdot d_{к.б}(N) \cdot \eta_n}{2 \cdot i_n} - \frac{M_0}{i_n \cdot \eta_n}, \quad (2)$$

где i_n – общее передаточное число трансмиссии от вала электродвигателя к барабану намотки каротажного грузонесущего кабеля; η_n – к. п. д. кинематической цепи, учитывающий потери в редукторе, цепной передаче, подшипниках качения и трение в блоках и каротажном кабеле при спуске прибора; $F_T(N)$ – сила тяги, создаваемая барабаном для скважинного прибора, находящегося в скважине, заполненной прозрачной жидкостью [10]; $d_{к.б}(N)$ – диаметр намотки кабеля на барабан; N – номер слоя намотки геофизического кабеля на барабане, начиная с пустого барабана; M_0 – момент, учитывающий трение плоских пружин геофизического прибора о стенки скважины.

Скважинный прибор (рис. 1) при его подъеме или спуске имеет ось симметрии, которая при его движении совпадает с вектором скорости, в этом случае на скважинный прибор действует сила лобового динамического сопротивления:

$$F_d(v) = c_1 \frac{\rho \cdot v^2}{2} S, \quad (3)$$

где ρ – плотность прозрачной скважинной жидкости, кг/м³; v – скорость движения скважинного прибора, м/с; S – наибольшее поперечное сечение скважинного прибора, м²; c_1 – безразмерный коэф-

фициент сопротивления, определяемый экспериментально.

Анализ уравнения (3) показывает, что сила динамического сопротивления всегда реактивная, всегда препятствует движению и действует на скважинный прибор только во время его движения. При скорости прибора, равной нулю, сила динамического сопротивления также будет равна нулю. Следует отметить, что теоретически между силой лобового динамического сопротивления (3) и линейной скоростью скважинного прибора v существует квадратичная зависимость. Практически показатель степени у скорости v может меняться от 2,5 до 6 [11], и это – парадоксы гидродинамики [12].

Результирующий момент сопротивления при спуске геофизического прибора в скважину

$$M_{cc}(N, v) = \frac{F_T(N) d_{к.б}(N)}{2 i_n \eta_n} - \frac{M_0}{i_n \eta_n} - \frac{c_1 \rho v^2 S d_{к.б}(N)}{2 i_n \eta_n}. \quad (4)$$

Составляющая $M_0/i_n \eta_n$ момента $M_{cc}(N, v)$ при спуске геофизического прибора невелика и возникает только из необходимости центровки скважинного прибора в скважине. Составляющая динамического момента проявляется только при большой скорости спуска геофизического прибора, близкой к скорости его падения в жидкости. При реальной скорости спуска от $v_{\min}=0,014$ м/с до $v_{\max}=0,05$ м/с значения динамического момента невелики.

Таким образом, статический момент при спуске скважинного прибора – активный момент, и задача электропривода – обеспечить плавный спуск прибора без свободного его падения в скважинной жидкости.

После опускания скважинного прибора до необходимой глубины и завершения визуального контроля неизменно следует подъем прибора. При подъеме скважинного прибора приведенный к валу двигателя момент записывается в виде

$$M_{cn}(N, v) = \frac{F_0(N) d_{к.б}(N)}{2 i_n \eta_n} + \frac{M_0}{i_n \eta_n} + \frac{c_1 \rho v^2 S d_{к.б}(N)}{i_n \eta_n}. \quad (5)$$

Анализ выражений (4) и (5) показывает, что статический момент сопротивления при спуске $M_{cc}(N)$ несколько меньше, чем при подъеме $M_{cn}(N)$ скважинного прибора, поэтому расчет мощности двигателя каротажного подъемника следует вести для режима подъема прибора.

Особенности изменения момента сопротивления при подъеме скважинного прибора от числа слоев N и скорости его движения необходимо учитывать при выборе мощности приводного двигателя и моделировании работы электропривода подъемника.

Моделирование электропривода каротажного подъемника

Каротажный подъемник для визуального контроля состояния скважин рассчитан для работы в скважинах с относительно небольшой глубиной – 100–200 м. Для такого подъемника число слоев N

каротажного грузонесущего кабеля на барабане обычно не превышает 10. В этом случае для обеспечения постоянной скорости спуска и подъема скважинного прибора диапазон регулирования электропривода обычно не превышает 10–15 о.е.

Поэтому для механизма подъема скважинного прибора, работающего с небольшим диапазоном регулирования скорости и не требующего высокого качества переходных процессов, наиболее целесообразно применять асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, получающие питание от преобразователя частоты со скалярной системой управления [13–15]. Необходимый диапазон регулирования скорости достигается в скалярных электроприводах введением дополнительной положительной обратной связи по току в каналах регулирования напряжения и частоты [16–18]. При глубинах исследуемых скважин более 500 м для каротажных подъемников необходимо применять асинхронный электропривод с частотным регулированием скорости и векторной системой управления [10, 19–21].

В случае застревания скважинного прибора в колонне или скважине, для исключения возможности обрыва грузонесущего кабеля, при превышении момента на валу двигателя допустимого значения электропривод должен автоматически остановиться. Для ограничения тока статора асинхронного двигателя, а, следовательно, и его момента, в скалярных электроприводах применяется задержанная отрицательная обратная связь по току в каналах регулирования напряжения и частоты. Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением, обеспечивающая отмеченные необходимые требования, приведена на рис. 4.

Основными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением, являются (рис. 4): *M* – асинхронный двигатель; ПЧ – преобразователь частоты с автономным инвертором напряжения (АИН); ПКП – преобразователь координат прямой; ПКО – преобразователь координат обратный, осуществляющий расчет фактического значения действующего фазного тока двигателя; ПЧН – преобразователь «частота – напряжение», формирующий характеристику класса $U/f = \text{const}$, определяемую нагрузкой электропривода; ЗИ – задатчик интенсивности скорости с *S*-образной характеристикой; ДТ – датчики тока трех фаз двигателя; КС – блок компенсации скольжения, обеспечивающий положительную обратную связь по току в канале регулирования частоты; КМ – блок компенсации момента, обеспечивающий положительную обратную связь по току в канале регулирования напряжения; РОТ – пропорционально-интегральный регулятор ограничения тока асинхронного двигателя; Б – барабан; СП – скважинный прибор; МР – мерный ролик; ИДП – импульсный датчик, позволяющий определить положение скважинного прибора в скважине; $f_{1\text{зад}}$ – сигнал задания частоты на выходе инвертора напряжения; $I_{1\text{max}}$ – сигнал задания на ограничение максимального тока асинхронного двигателя.

Исследование асинхронного электропривода с частотным регулированием скорости в динамике, при спуске и подъеме скважинного прибора, проведено в программной среде *MatLab-Simulink*. Программа моделирования учитывает наличие третьей гармоники в кривой напряжений управления U_{yA} , U_{yB} , U_{yC} , широтно-импульсное регулирование напряжения инвертора.

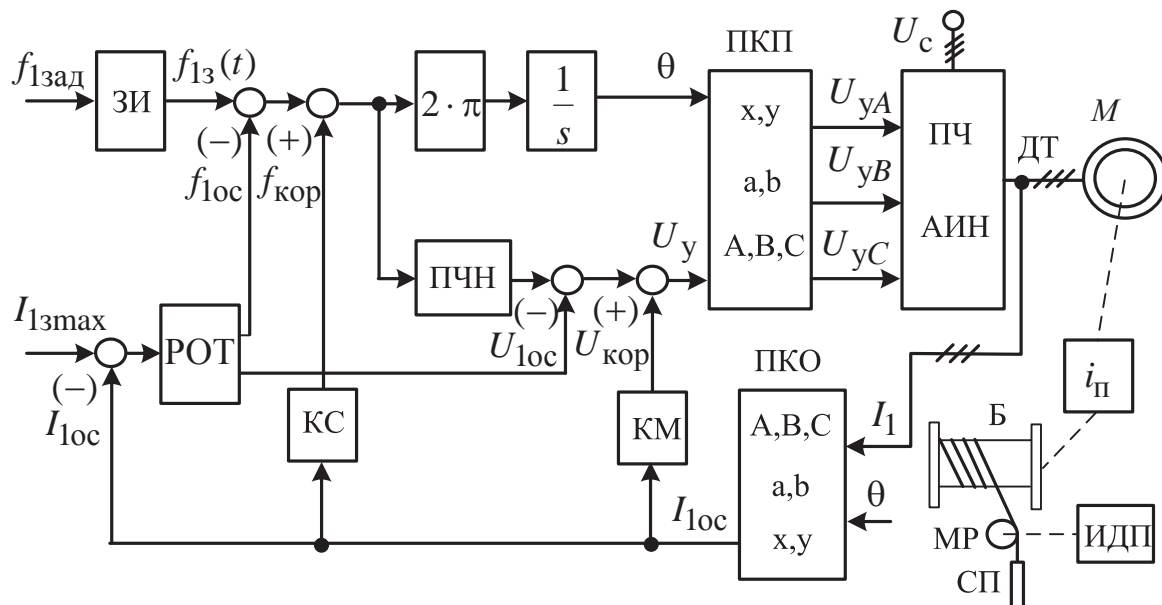


Рис. 4. Функциональная схема скалярного электропривода каротажного подъемника

Fig. 4. Functional diagram of the electric drive with scalar control system of well logging truck hoist

Моделирование процессов в электроприводе каротажного подъемника произведено для асинхронного двигателя серии RA132MB6, имеющего следующие каталожные данные: номинальная мощность $P_n=5,5$ кВт; номинальное фазное напряжение $U_{1n}=220$ В; номинальная синхронная скорость $\omega_{0n}=104,7$ рад/с, номинальная скорость $\omega_n=99,48$ рад/с, номинальный к. п. д. $\eta_n=0,84$ о. е.; номинальный коэффициент мощности при частичной нагрузке (75%-я нагрузка) $\cos\varphi_{0,75}=0,74$ о. е.; к. п. д. при частичной нагрузке (75%-я нагрузка) $\eta_{0,75}=0,85$ о. е., коэффициент мощности при частичной нагрузке (75%-я нагрузка) $\cos\varphi_{0,75}=0,74$ о. е.; кратность пускового тока $k_i=I_n/I_n=5,5$ о. е.; кратность максимального момента $k_{max}=M_n/M_n=2,5$ о. е. Эти данные позволяют рассчитать по методике [22] параметры Т-образной схемы замещения двигателя.

Графики переходных процессов скорости двигателя $\omega(t)$, электромагнитного момента $M(t)$ и действующего значения тока статора $I_1(t)$ для рабочего режима спуска скважинного прибора каротажным подъемником со скалярным электроприводом «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» приведены на рис. 5. Задания на пуск электропривода и на изменение скорости формируются задатчиком интенсивности с S-образной характеристикой.

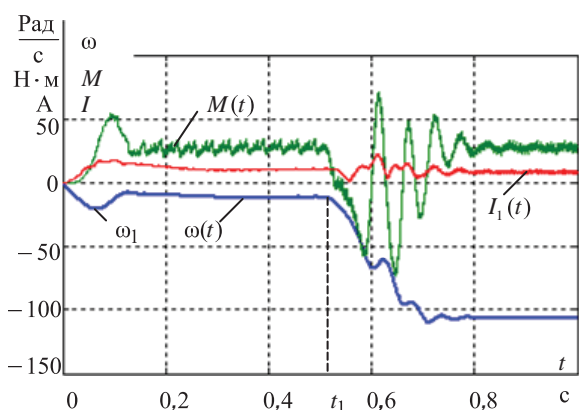


Рис. 5. Графики переходных процессов скорости двигателя $\omega(t)$, электромагнитного момента $M(t)$ и действующего значения тока статора $I_1(t)$ при спуске скважинного прибора

Fig. 5. Plots of transients of motor speed $\omega(t)$, electromagnetic torque $M(t)$ and the effective value of the stator current $I_1(t)$ when lowering the down hole instrument

Анализ переходных процессов (рис. 5) показывает, что на начальном участке спуска геофизического прибора в скважину с малой скоростью ($t=0$) активная нагрузка (2) заставляет электропривод раскручиваться до скорости ω_1 , превышающей установленную. Нарастающий момент $M(t)$ двигателя не позволяет скважинному прибору свободно падать в скважину и в дальнейшем обеспечивает его вход в устье скважины с заданной малой скоростью. В момент времени t_1 скорость спуска геофизического прибора увеличивается до рабочей, определяемой оператором (в данном случае до максимальной рабочей скорости), и спуск скважинно-

го прибора происходит при номинальной частоте двигателя $f_{1n}=50$ Гц со скоростью $\omega=106,4$ рад/с – большей номинальной синхронной скорости $\omega_{0n}=104,7$ рад/с. Асинхронный двигатель работает с активной нагрузкой в генераторном режиме с отдачей потенциальной энергии в тормозной резистор асинхронного частотно-регулируемого электропривода.

Колебания электромагнитного момента $M(t)$ и действующего тока статора $I_1(t)$ асинхронного двигателя являются особенностями скалярного управления. Действующие значения тока статора двигателя I_1 в переходных режимах не превышают заданного, в данном случае двукратного номинального значения $I_{1max}=2 \cdot I_{1n}=24$ А, не превышает двукратного номинального значения и электромагнитный момент асинхронного двигателя.

Процессы в переходных режимах электропривода и его работе с заданной установившейся скоростью полностью удовлетворяют технологическому процессу каротажа с визуальным контролем состояния скважины.

При необходимости провал скорости при пуске электропривода можно избежать, если электромагнитный растормаживатель барабана Б (рис. 4) включать с задержкой после подачи сигнала на вращение электропривода. Однако это требует совместной настройки электропривода и автоматики каротажного подъемника.

Подъем скважинного прибора также осуществляется при активной нагрузке. Графики переходных процессов скорости двигателя $\omega(t)$, электромагнитного момента $M(t)$ и действующего значения тока статора $I_1(t)$ для режима подъема скважинного прибора каротажным подъемником приведены на рис. 6.

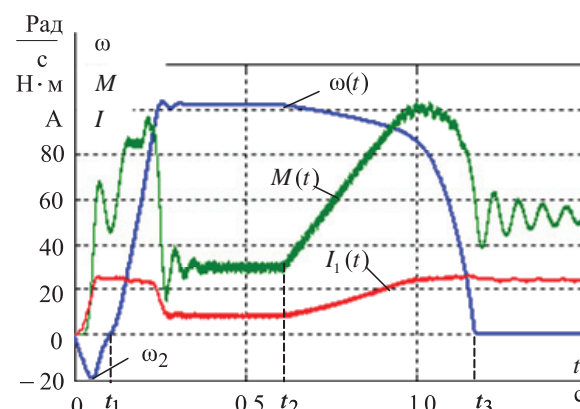


Рис. 6. Графики переходных процессов скорости двигателя $\omega(t)$, электромагнитного момента $M(t)$ и действующего значения тока статора $I_1(t)$ при подъеме скважинного прибора и его заклинивании

Fig. 6. Plots of transients of motor speed $\omega(t)$, electromagnetic torque $M(t)$ and the effective value of the stator current $I_1(t)$ when hoisting the downhole instrument and jamming

Действие активного момента сопротивления, приведенного к валу двигателя при подъеме, про-

является в провале скорости асинхронного двигателя до значения $\omega_2 = -19,5$ рад/с. При необходимости провал скорости можно исключить, растормаживая вал барабана в момент времени t_1 после подачи задающего воздействия на электропривод. Во время переходных режимов момент асинхронного двигателя значительно колеблется. Это особенность скалярного управления, так как пуск двигателя происходит при несформированномся потоке и в двигателе отсутствует круговое вращающееся электромагнитное поле.

На рис. 6 рассмотрен также режим прихвата скважинного прибора в скважине. Такой режим может возникнуть, например, в необсадных колоннах вследствие обрушения породы (рис. 3) при подъеме прибора. В этом случае подъем скважинного прибора необходимо автоматически остановить. На рис. 6 в момент времени t_2 произошло заклинивание скважинного прибора (прихват), момент асинхронного двигателя растет, растет и действующее значение тока статора двигателя, однако его значение даже при полной остановке двигателя в момент времени t_3 не превышает заданного допустимого значения $I_{1\max}$. Не превышает заданного двукратного значения и момент асинхронного двигателя. В системе автоматики каротажного подъемника предусмотрена дублирующая защита от обрыва геофизического кабеля, срабатывающая в том случае, если натяжение геофизического кабеля превысит допустимое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексная аппаратура ядерного каротажа (КСПК-III) для исследования нефтяных скважин / А.В. Кондрашов, Р.Р. Куйбышев, И.З. Миннуллин, В.Н. Даниленко // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд-во АИС, 2016. – Вып. 6 (264). – С. 164–171.
2. Разработка и внедрение методических рекомендаций по проведению измерений аппаратурой нейтронного каротажа ПРКЛ-73, ПРКЛ-73А, обработке и интерпретации результатов / А.А. Беляев, В.А. Богдан, В.М. Коровин // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд-во АИС, 2015. – Вып. 11 (257). – С. 91–97.
3. Dunn K.-J., Bergman D.J., La Torraca G.A. Nuclear Magnetic Resonance // *Petrophysical and Logging Applications*. – New York: Pergamon, 2002. – P. 94.
4. Field Test of a new Nuclear Magnetic Resonance tool / R. Khamatdinov, E. Mityushin, V. Murtsovkin, D. Tiller, J. Jonkers // *SPWLA 44 Annual Logging Symposium, 2003. Paper AAA*. – Santa Fe; New Mexico, USA, 25–30 April, 2003. – P. 165–167.
5. Технология оценки технического состояния обсадных колонн магнитоимпульсными дефектоскопами / А.П. Потапов, В.В. Даниленко, В.Н. Даниленко, Г.И. Головацкая // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд-во АИС, 2016. – Вып. 6 (264). – С. 112–134.
6. Использование аппаратуры ЗАС-ТШ-42 в комплексе с другими методами для повышения информативности контроля технического состояния обсаженных скважин / В.Д. Ташбулатов, В.Н. Еникеев, А.Г. Кунавин, М.Я. Гайфуллин // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд-во АИС, 2016. – Вып. 6 (264). – С. 152–164.
7. Возможности применения скважинного акустического сканера САС-90 для геофизических исследований скважин / В.М. Горохов, А.Р. Садыков, О.Н. Самахин, А.А. Попов, А.С. Щербак // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд-во АИС, 2015. – Вып. 11 (257). – С. 60–71.
8. Применение сейсмоакустических методов при контроле гидро-разрыва пласта / С.В. Белов, П.С. Дьяконова, Р.А. Дагилев, А.Д. Савич // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд-во АИС, 2015. – Вып. 10 (256). – С. 79–90.
9. Опыт применения магнитотеллурических исследований для изучения сложных геоэлектрических разрезов Азербайджана / Э.С. Новрузов, У.Дж. Маммадова // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд-во АИС, 2015. – Вып. 1 (247). – С. 15–23.
10. Чернышев А.Ю., Журиков С.А., Чернышев И.А. Электропривод подъемников комплексов геофизического исследования скважин // *Известия Томского политехнического университета*. – 2015. – Т. 326. – № 3. – С. 63–67.
11. Сыромятников И.А. Синхронные двигатели. – М.: Госэнергиздат, 1959. – 224 с.
12. Чижумов С.Д. Основы гидродинамики. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2007. – 106 с.
13. Idris A., Kidouche M. Real-Time Simulation of V/F Scalar Controlled Induction Motor Using RT-Lab Platform for Educational Purpose // *Recent advances in system: Proceedings of the 2013 International Conference on Systems, Control and Informatics (SCI 2013)*. – Venice, Italy, September 28–30, 2013. – P. 189–192.
14. Akin B., Nishant G. Scalar (V/f) Control of 3-Phase Induction Motors: application report SPRABQ8 / Texas Instrument Incorporated. – Dallas, Texas: Texas Instruments, 2000. – 27 p.
15. Akroum H., Kidouche M., Aibeche A. Scalar Control of Induction Motor Drives Using dSPACE DS1104 // *Recent advances in system: Proceedings of the 2013 International Conference on Systems, Control and Informatics*. – Venice, Italy, September 28–30, 2013. – P. 322–327.

16. Real-time Modeling and Simulation of an Active Power Filter / S. Beaulieu, M. Ouhrouche, C. Dufour, P.F. Allaire // Proc. of Ninth IASTED International Conference on Power and Energy Systems – PES 2007. – Clearwater, Florida, USA, January 3–5, 2007. – P. 128–133.
17. Akroum H., Kidouche M., Aibeche A. A DSPACE DSP Control for V/F Controlled Induction Motor Drive and Parameters Identification // Lecture Notes in Electrical Engineering (LNEE). – 2011. – V. 121. – P. 305–312.
18. Novel Stator Voltage Oriented V/F Control Method Capable of High Output Torque at Low Speed / W. Chen, D. Xu, R. Yang, Y. Yu, Y.A. Xu // International Conference on Power Electronics and Drive Systems PEDS2009. – Venice, Italy, September 20–23, 2009. – P. 228–233.
19. Bolovin E.V., Glazyrin A.S., Brendakov V.N. The influence of the design method for induction motor with stationary rotor on identification of its parameters // Control and Communications (SIBCON), 2015 International Siberian Conference. – Omsk, Russia, 21–23 May 2015. – P. 1–7.
20. Tkachuk R.Yu., Glazyrin A.S., Polichshuk V.I. Induction motor drive's parameters identification using genetic algorithms // Strategic Technology (IFOST), 7th International Forum. – Tomsk, Russia, September 21–23, 2012. – P. 1–4.
21. Kolomyets E.A., Chernyshyov A.Yu. Observer of rotor speed and flux is developed for the vector control system of induction motor // Control and Communications (SIBCON), International Siberian Conference, 2015. – Omsk, Russia, May 21–23, 2015. – P. 1–7.
22. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным // Материалы международной научно-технической конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – С. 269–272.

Поступила 21.10.2016 г.

Информация об авторах

Чернышева Т.А., старший преподаватель кафедры инженерной графики и промышленного дизайна Института кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Журиков С.А., заместитель директора по геофизической аппаратуре ООО «АСУ-ЭКСПЕРТ».

Чернышев А.Ю., кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и электрооборудования Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Чернышев И.А., кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и электрооборудования Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 62–83–523:550.832:621.876

INDUCTION DRIVE OF WELL LOGGING TRUCK HOIST FOR VISUAL MONITORING THE BOREHOLE OPERATING CONDITIONS

Tatyana A. Chernysheva¹,
cherta@tpu.ru

Sergey A. Zhurikov²,
GurikovSA @asu-expert.ru

Aleksandr Yu. Chernyshev¹,
ach@tpu.ru

Igor A. Chernyshev¹,
chia@tpu.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² «ASU-EXPERT»,
51/1, Krasnoarmeyskaya street, Tomsk, 634029, Russia.

Relevance of the study is caused by the necessity of developing induction motor electric drives of well logging truck hoist for visual monitoring the borehole operating conditions.

The main aim of the study is to develop and research the scalar control system for electric drive comprised of frequency converter and induction motor. The system should take into account operation features and the load parameter changes in the hoist for geophysical research of boreholes.

Methods of research are based on application of automatic control theory and simulation modeling under MatLab–Simulink environment.

Results. The authors have developed the load computation method for lowering and hoisting the downhole instrument, which allows determining the power of the electric drive of the hoisting mechanism more accurately. Variable-speed electric drive comprised of frequency converter and induction motor with scalar control system were developed for geophysical hoists. The transients for all operating modes of electric drive of the well logging truck hoist were calculated, including sticking of the geophysical instrument in the borehole. The obtained results of the studies were validated by the experimental results of the developed electric drive of hoisting mechanisms for geophysical research of boreholes.

Findings. When studying the variable-speed induction motor drive with scalar control system, one should take into account the peculiarities of the PWM voltage control in the frequency converter. This allows achieving more reliable results of simulation modeling and accelerating the controllers tuning of electric drives of truck hoist. It was ascertained that the current degenerative feedback with delay in control channel of voltage and frequency limits a root-mean-square value of stator current of the variable-frequency induction motor in all normal and emergency operating modes of the truck hoist. It was ascertained as well that in all operating modes of the truck hoist the load on the motor shaft is active, therefore, while lowering the downhole instrument the induction motor operates in generator mode with power dissipation in brake resistors of the frequency converter. If the lowering of the downhole instrument lasts for a long time, than the brake resistors should have increased power ratings.

Key words:

Geophysical research of boreholes, static loads of downhole instrument, dynamic loads of downhole instrument, induction motor drive, scalar control, pulse-width modulation.

REFERENCES

1. Kondrashov A.V., Ruibyshev R.R., Minnullin I.Z., Danilenko V.N. Combined nuclear logging tools (KSPRK-SH) for oil well logging. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Karotazhnik – Scientific-technical herald Karotazhnik*, 2016, vol. 264, no. 6, pp. 164–171. In Rus.
2. Belyaev A.A., Bogdan V.A., Korovin V.M. Development and introduction of procedural recommendations for neutron logging tools PRKL-73 and PRKL-73A operation, data processing and interpretation. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Karotazhnik – Scientific-technical herald Karotazhnik*, 2015, vol. 257, no. 11, pp. 91–99. In Rus.
3. Dunn K.-J., Bergman D.J., LaTorraca G.A. *Nuclear Magnetic Resonance. Petrophysical and Logging Applications*. New York, Pergamon, 2002. pp. 94.
4. Khamatdinov R., Mityushin E., Murtsovkin V., Tiller D., Jonkers J. Field Test of a new Nuclear Magnetic Resonance tool. *SPWLA 44 Annual Logging Symposium*, 2003. Paper AAA. Santa Fe; New Mexico, USA, 25–30 April, 2003. pp. 165–167.
5. Potapov A.P., Danilenko V.V., Danilenko V.N., Golovatskaya G.I. Technique of assessment of technical state of casing string by magnetic pulse defectoscopes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Karotazhnik – Scientific-technical herald Karotazhnik*, 2016, vol. 264, no. 6, pp. 112–134. In Rus.
6. Tashbulatov V.D., Enikeev V.N., Kunavin A.G., Gayfullin M.Ya. Using the ZAS-Tsh-42 tool combined with the other methods to enrich the information value of technical state control in the cased wells. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Karotazhnik – Scientific-technical herald Karotazhnik*, 2016, vol. 264, no. 6, pp. 152–164. In Rus.
7. Gorokhov V.M., Sadikov A.R., Samokhin O.N., Popov A.A., Shcherbak A.S. Possibilities of using the sonic borehole scanner SAS-90 for well logging. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Karotazhnik – Scientific-technical herald Karotazhnik*, 2015, vol. 257, no. 11, pp. 60–71. In Rus.

8. Belov S.V., Dyakonova P.S., Dyagilev R.A., Savich A.D. Using seismoacoustic methods for hydrofrac control. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Karotazhnik – Scientific-technical herald Karotazhnik*, 2015, vol. 256, no. 10, pp. 79–90. In Rus.
9. Navruzov E.S., Mammadova U. Dzh. The experience on applying magnetotelluric investigations to study the complex geoelectric sections of Azerbaijan. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Karotazhnik – Scientific-technical herald Karotazhnik*, 2015, vol. 247, no. 1, pp. 15–23. In Rus.
10. Chernyshev A.Yu., Zhurikov S.A., Chernyshev I.A. Electric drive of elevators for borehole geophysical survey complex. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 3, pp. 63–69.
11. Syromyatnikov I.A. *Sinkhronnye dvigateli* [Synchronous motors]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1959. 224 p.
12. Chizhiumov S.D. *Osnovy gidrodinamiki* [Basics of hydrodynamics]. Komsomolsk-on-Amur, KnASTU Publ., 2007. 106 p.
13. Idir A., Kidouche M. Real-Time Simulation of V/F Scalar Controlled Induction Motor Using RT-Lab Platform for Educational Purpose. *Recent advances in system: Proceedings of the 2013 International Conference on Systems, Control and Informatics*. Venice, Italy, September 28–30, 2013. pp 189–192.
14. Akin B., Nishant G. *Scalar (V/f) Control of 3-Phase Induction Motors: application report SPRABQ8 / Texas Instrument Incorporated*. Dallas, Texas, Texas Instruments, 2000. 27 p.
15. Akroum H., Kidouche M., Aibeche A. Scalar Control of Induction Motor Drives Using dSPACE DS1104. *Recent advances in system: Proceedings of the 2013 International Conference on Systems, Control and Informatics*. Venice, Italy, September 28–30, 2013. P. 322–327.
16. Beaulieu S., Ouhrouche M., Dufour C., Allaire P.F. Real-time Modeling and Simulation of an Active Power Filter. *Proc. of Ninth IASTED International Conference on Power and Energy Systems – PES 2007*. Clearwater, Florida, USA, January 3–5, 2007. pp. 128–133.
17. Akroum H., Kidouche M., Aibeche A. A DSPACE DSP Control for V/F Controlled Induction Motor Drive and Parameters Identification. *Lecture Notes in Electrical Engineering (LNEE)*, 2011, vol. 121, pp. 305–312.
18. Chen W., Xu D., Yang R., Yu Y., Xu Y. A Novel Stator Voltage Oriented V/F Control Method Capable of High Output Torque at Low Speed. *International Conference on Power Electronics and Drive Systems PEDS2009*. Venice, Italy, September 20–23, 2009. pp. 228–233.
19. Bolovin E.V., Glazyrin A.S., Brendakov V.N. The influence of the design method for induction motor with stationary rotor on identification of its parameters. *Control and Communications (SIBCON), 2015 International Siberian Conference*. Omsk, Russia, 21–23 May 2015. pp. 1–7.
20. Tkachuk R.Yu., Glazyrin A.S., Polichshuk V.I. Induction motor drive's parameters identification using genetic algorithms. *Strategic Technology (IFOST), 7th International Forum*. Tomsk, Russia, September 21–23, 2012. pp. 1–4.
21. Kolomiyets E.A., Chernyshyov A.Yu. Observer of rotor speed and flux is developed for the vector control system of induction motor. *Control and Communications (SIBCON), International Siberian Conference*. Omsk, Russia, May 21–23 2015. pp. 1–7.
22. Chernyshev A.Yu., Chernyshev I.A. Opredelenie parametrov skhemy zameshcheniya asinkhronnogo dvigatelya po katalognym dannym [Determination of induction motor drive parameters according to the catalogue]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Proc. of the International scientific conference]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2007. pp. 269–272.

Received: 21 October 2016.

Information about the authors

Tatyana A. Chernysheva, Senior Lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University.

Sergey A. Zhurikov, Deputy director, «ASU-EXSPERT».

Aleksandr Yu. Chernyshev, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Igor A. Chernyshev, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.