

УДК 622.276.53.054.22:621.3

А.М. Сагдатуллин, аспирант, Альметьевский государственный нефтяной институт, e-mail: saturn-s5@mail.ru

Разработка математической модели системы автоматизации электропривода штанговой скважинной насосной установки

В данной работе рассмотрен способ повышения энергоэффективности штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ) на основе преобразователя частоты (ПЧ) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Разработана математическая модель электропривода ШСНУ, позволяющая исследовать переходные процессы пуска динамической системы, включающей сеть, трансформатор, кабель, асинхронный электродвигатель (АД), ШСНУ. Разработана схема замещения рассматриваемой установки, а также ее математическое описание как при прямом пуске, так и при пуске АД от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией. Получены графики по току, угловой скорости и электромагнитному моменту в зависимости от времени с учетом динамической нагрузки на валу электродвигателя.

Ключевые слова: моделирование, энергоэффективность, электропривод, штанговая скважинная насосная установка, глубинный скважинный насос, преобразователь частоты с широтно-импульсной модуляцией, асинхронный электродвигатель.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время основные методы подъема углеводородного сырья основаны на использовании энергии пласта (фонтанная добыча нефти), искусственной энергии компрессоров (эксплуатация с помощью газлифта), а также насосов (винтовые, центробежные типа ЭЦН, штанговые глубинные насосы (ШГН)). Однако эксплуатация скважин штанговыми насосами является наиболее распространенным методом механизированной добычи нефти [1]. Распространение данного метода в нефтегазодобывающей промышленности связано со следующими факторами: работа в скважинах небольших диаметров, простота конструкции, легкость в обслуживании, настройке и эксплуатации на промысле, незначительное воздействие насоса на физико-химические свойства добываемой нефти при достаточно высоком КПД ШГН.

В России более половины всех скважин эксплуатируются с помощью штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ) [2], оснащенных глубинными скважинными насосами (ШГНУ), пуск в работу которых производится непосредственным подключением двигателя к питающей сети с помощью магнитных пускателей, коммутационных и управляющих аппаратов (прямой пуск). Однако число данных пусков, особенно на малодобитных скважинах, может достигать нескольких десятков. С учетом динамической нагрузки на валу электродвигателя данное обстоятельство может сопровождаться провалами напряжения в сети и приводить к значительным затратам, связанным с поломкой электротехнического и технологического оборудования, а также к простоям скважины. Следовательно, актуальным является вопрос энергосбережения и повышения эффективности эксплуатации данных типов установок.

Повышение эффективности функционирования глубинных штанговых насосных установок и снижение динамических нагрузок в штанговой колонне возможно на основе выбора рационального закона движения точки подвеса насосных штанг. Актуальность решения данного вопроса подтверждается значительным количеством исследований, основные положения которых представлены в работах А.Н. Адонина, А.С. Вирновского, В.Н. Ивановского, Нгуена Ле Миня [3–7]. Отмечается, что трапецеидальный закон изменения скорости в отличие от синусоидального благоприятно сказывается на работе ШСНУ, подчеркивается важность решения вопроса выбора наиболее рационального закона движения точки подвеса насосных штанг, его формы и длительности на участках неустановившегося движения. Существует достаточно большое количество систем управления электродвигателем ШСНУ, которые обеспечивают

получение заданных законов движения точки подвеса насосных штанг, например промежуточные передачи для уменьшения частоты вращения вала по сравнению с частотой вращения приводного двигателя, тиристорные преобразователи напряжения или преобразователи частоты асинхронных электродвигателей. Управление электродвигателем ШСНУ с помощью преобразователя частоты имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами: более высокие энергетические показатели, гибкая настройка параметров и режимов работы электропривода, высокое качество статических и динамических характеристик в переходных режимах и удобство в эксплуатации.

Как правило, для математического моделирования процессов нефтедобычи используются различные подходы, включающие гидродинамическое описание, анализ динамики пластовой системы и напорных характеристик насосов на основе решения дифференциальных уравнений и краевых задач. Однако используемые дифференциальные уравнения и математические модели рассчитаны на вычисление статических режимов работы станка-качалки и не приспособлены для анализа динамических процессов пуска и переходных режимов в системе, включающей асинхронный электродвигатель и преобразователь частоты с широтно-импульсной модуляцией в соответствии с U/f -характеристикой.

Поэтому для повышения эффективности систем оперативного управления и глубинных средств контроля и эксплуатации скважин важной и актуальной задачей является разработка новых математических моделей для анализа работы скважинных систем, интегрирующих процессы, протекающие в питающей линии (трансформаторы, кабельные линии, фильтры и др.), электродвигателе, штанговом насосе, скважине и пласте.

Для решения данной задачи необходимо провести анализ схемы электропитания электродвигателя штанговой глубинной насосной установки, разработать математическую модель ШГНУ, учитывающую параметры линии

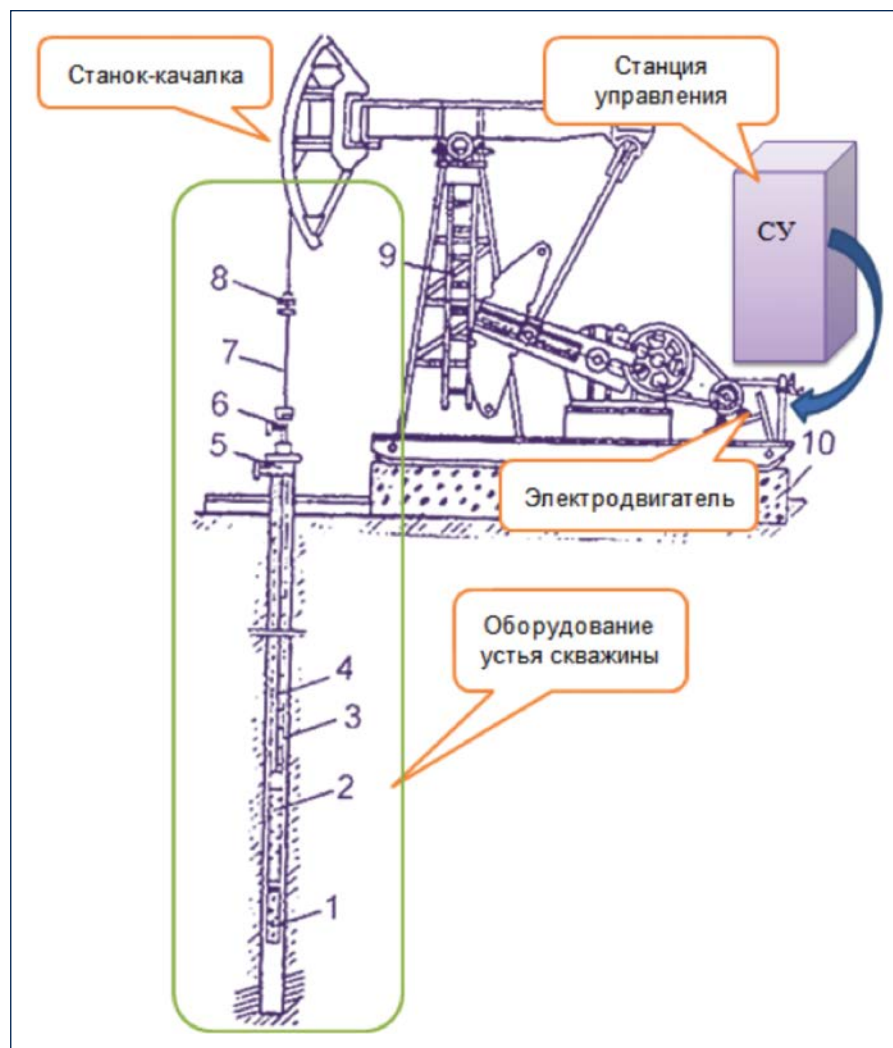


Рис. 1. Структурная схема штанговой глубинной насосной установки

питания и момент сопротивления на валу электродвигателя с ПЧ и включающую динамическую модель жидкости в скважинной системе.

АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ШТАНГОВОЙ ГЛУБИННОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ (ШГНУ)

Штанговая глубинная насосная установка (рис. 1) состоит из станка-качалки (СК) 9, фундамента 10, оборудования устья скважины, тройника 5, газового или песочного фильтра 1, штангового скважинного насоса (ШСН) 2, приводимого в действие электродвигателем СК и передач момента на колонну насосных штанг (НШ) 4, прикрепленных на планшайбе 8 насосно-компрессорных труб (НКТ) 3, по которым продукция скважины (нефть, вода) подается на по-

верхность, сальникового уплотнения 6, сальникового штока 7. Установки данного типа обычно применяют в скважинах с дебитом до 50 м^3 при глубине подвеса насоса до 3400 м.

Станция управления (СУ) обеспечивает пуск, остановку, самозапуск СК после перерыва в подаче электроэнергии, периодическую работу, а также защиту от перегрузок и аварийных ситуаций (обрыв штанг, поломки редуктора, насоса, порыв трубопровода и т.д.).

Приведенные выше недостатки систем управления электродвигателем ШСНУ, связанные с неполным заполнением цилиндра насоса, невозможностью обеспечить регулирование его производительности, перерасходом электроэнергии и выходом из строя насосного оборудования станка-качалки преодолеваются благодаря следующим основ-

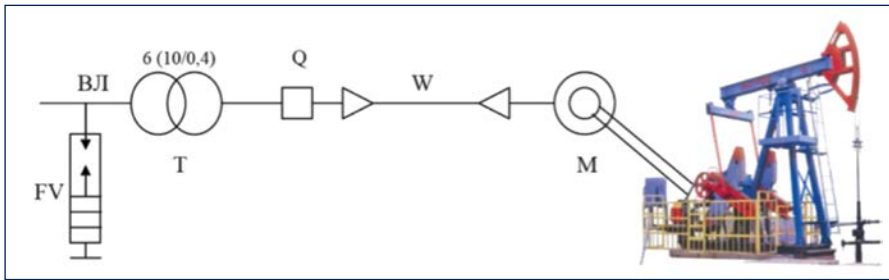


Рис. 2. Схема электроснабжения электродвигателя штанговой глубинной насосной установки

ным функциям регулируемого привода с преобразователем частоты:

- плавный пуск электродвигателя станка-качалки с программируемым временем разгона;
- безударный самозапуск после пропадания напряжения;
- регулирование скорости движения по заданному закону управления в циклах работы;
- поддержание динамического уровня жидкости в скважине;
- защита электродвигателя от перегрузок по току, напряжению питания, перекоса фаз, короткого замыкания и перегрева;
- функции энергосбережения.

На рисунке 2 приведена принципиальная схема электроснабжения штанговой глубинной насосной установки.

Питание установки осуществляется по воздушной линии (ВЛ) от трансформатора (Т) 6/0,4 кВ, защищенного с помощью вентильного разрядника (FV) со стороны высокого напряжения. В схеме со стороны 0,4 кВ также обозначены кабель (W) и выключатель (Q), осуществляющие функции питания и коммутации электродвигателя (М). Обычно электродвигателями к СК служат асинхронные трехфазные электродвигатели, короткозамкнутые, во влагостойком исполнении, с частотой вращения до 1500 об./мин.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШГНУ

Согласно [8], прямой пуск или использование программируемого таймера в установках ШГНУ сопровождается рядом следующих недостатков:

- перегрузки по току и моменту при пуске двигателя;
- регулирование числа ходов только при помощи замены шкива;
- отсутствие защиты штанг от обрывов;
- энергия торможения на валу АД перегружает сеть и увеличивает энергопотребление;
- простой скважины в течение заданного времени, а следовательно, потери в добыче при срабатывании системы автоматического повторного включения (АПВ) в случае использования программируемого таймера;
- невозможность автоматической настройки на максимальный дебит.

Для исследования работы системы «сеть – трансформатор – кабель – АД – ШГНУ» разработана схема замещения (рис. 3), а также математическое описание данной системы, позволяющее исследовать прямой пуск и пуск АД от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией.

Составим схему замещения асинхронного электродвигателя с учетом параметров системы «питающая сеть – трансформатор – кабель – фильтр –

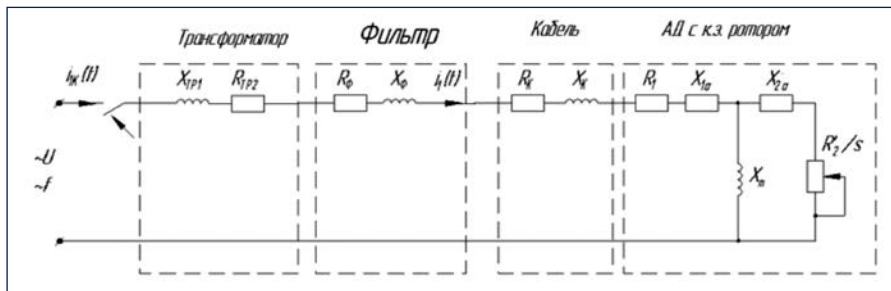


Рис. 3. Схема замещения

АД – ШГНУ – скважина», где R_{TP1}, X_{TP1} – активное и индуктивное сопротивления трансформатора и питающей линии; $R_Ф, X_Ф$ – активное и индуктивное сопротивления фильтра; $R_К, X_К$ – активное и индуктивное сопротивления кабельной линии; $R_1, X_{1σ}$ – активное и индуктивное сопротивления статора АД; $R_2', X_{2σ}$ – активное и индуктивное сопротивления ротора, приведенные к статору; s – скольжение; X_m – индуктивное сопротивление контура намагничивания.

Относительные единицы связаны с физическими единицами следующими формулами: $i_{oe} = i/i_{gr}, u_{oe} = u/u_{gr}, i_{oe} = i/i_{gr}, \omega_{oe} = \omega/\omega_{gr}$. Для схемы замещения (рис. 3) на базе уравнений [9–13] во вращающейся и связанной со статором координатной системе X, Y получим следующую систему дифференциальных уравнений для двухфазной электрической машины в векторной форме записи [15, 16, 17]:

$$\begin{cases} p\Psi_{1X} = U_{1X} \frac{R_{\Sigma} X_2}{X_{\Sigma} X_2 - X_m^2} \Psi_{1X} + \frac{R_{\Sigma} X_m}{X_{\Sigma} X_2 - X_m^2} \Psi_{2X} + \Psi_{1Y}'; \\ p\Psi_{1Y} = U_{1Y} \frac{R_{\Sigma} X_2}{X_{\Sigma} X_2 - X_m^2} \Psi_{1Y} + \frac{R_{\Sigma} X_m}{X_{\Sigma} X_2 - X_m^2} \Psi_{2Y} - \Psi_{1X}'; \\ p\Psi_{2X} = -\frac{R_2 X_{\Sigma}}{X_{\Sigma} X_2 - X_m^2} \Psi_{2X} + \frac{R_2 X_m}{X_{\Sigma} X_2 - X_m^2} \Psi_{1X} - s \Psi_{2Y}'; \\ p\Psi_{2Y} = -\frac{R_2 X_{\Sigma}}{X_{\Sigma} X_2 - X_m^2} \Psi_{2Y} + \frac{R_2 X_m}{X_{\Sigma} X_2 - X_m^2} \Psi_{1Y} - s \Psi_{2X}'; \\ p s = \frac{1}{T_m} \left(m_c - \frac{X_m}{X_{\Sigma} X_2 - X_m^2} \Psi_{1X} \Psi_{2Y}' - \Psi_{1Y} \Psi_{2X}' \right); \\ m_c = 2r P \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) - M_{yp} \sin\phi''; \end{cases} \quad (1)$$

где r – радиус кривошипа; P – нагрузка в точке подвеса штанг; α – угол между радиусом кривошипа и шатуном; M_{yp} – уравновешивающий момент; ϕ'' – угол между радиальным направлением центра вращающихся масс и вертикалью. Динамическая модель жидкости в скважинной системе может быть представлена на основе уравнений [14] системой (2), в которой $Q_{НКТ}, Q_b$ – потоки на входе и выходе насосно-компрессорной трубы (НКТ), в установившемся режиме $Q_{НКТ} = Q_b$; P_H – давление, создаваемое на выходе насоса; P_b – давление на входе НКТ (буферное давление); P_n – пластовое давление в зоне дренирования скважины (ЗДС); $P_{ок}$ – давление в приза-



Буровая установка
арктического
исполнения



Мембранная азотная установка



Цементировочная установка



Установка для ГРП на шасси



Колтюбинговая установка



Газовый компрессор



Устьевое оборудование

Головной офис в Китае

Адрес: КНР, пров.Шаньдун, г.Дуньин, ул.Наньэрлу, 233
Тел: +86-546-8179682 8179683 Факс: +86-546-8179681

Филиал в России

Адрес: Россия, 119019, г. Москва, пр. Вернадского, д. 29 E-mail: russiakr@keruigroup.com
Тел: +7 (495) 363-09-55, 565-35-58 Факс: +7 (495) 363-09-66

бойной зоне обсадной колонны (ОК); $k_{\text{п}}$ – коэффициент продуктивности пласта (определяется формулой Дюпри [9]).

$$\begin{cases} \frac{dP_{\text{ок}}}{dt} = \frac{g\rho}{S_{\text{ок}}} (Q_{\text{ок}} - k_{\text{п}}(P_{\text{н}} - P_{\text{в}} - P_{\text{нкт}} + P_{\text{г}})); \\ (P_{\text{н}} - P_{\text{ок}})\eta k_{\text{п}} = Q_{\text{ок}}; \\ (P_{\text{н}} - P_{\text{в}} - P_{\text{нкт}} + P_{\text{г}})k_{\text{п}} = Q_{\text{нкт}}; \\ V_{\text{ок}} = H_{\text{ок}} S_{\text{ок}} = \frac{P_{\text{ок}} S_{\text{ок}}}{g\rho}; \\ P_{\text{ок}} = g\rho H_{\text{ок}}; k_{\text{п}} = \eta \frac{\text{Ln}(R_{\text{п}}/R_{\text{с}})}{2\pi h k_{\text{пр}}}, \end{cases} \quad (2)$$

где η – динамическая вязкость жидкости; $D_{\text{нкт}}$, $L_{\text{нкт}}$ – соответственно внутренний диаметр и длина НКТ; $P_{\text{нкт}}$ – давление создаваемого весом столба жидкости в НКТ; $P_{\text{г}}$ – давление, вызванное концентрацией газов в жидкости, способствующее понижению веса жидкости; $V_{\text{ок}}$ и $S_{\text{ок}}$ – объем в призабойной зоне и площадь сечения ОК; $H_{\text{ок}}$ – высота столба жидкости в ОК; $Q_{\text{ок}}$ – поток в призабойной зоне; $R_{\text{п}}$ – радиус зоны дренирования скважины; $R_{\text{с}}$ – радиус скважины; h – мощность пласта; $k_{\text{пр}}$ – коэффициент проницаемости пласта.

Новизной математической модели, представленной системами дифференциальных уравнений двухфазной электрической машины в векторной форме записи и динамической модели жидкости в скважинной системе (1) и (2), является: меньший порядок СДУ благодаря представлению модели в операторной форме записи, представление СДУ во вращающейся и связанной со статором координатной системе X , Y и выражение системы через векторы потокоцепления статорных и роторных обмоток, а также учет параметров системы «питающая сеть – трансформатор – кабель – фильтр – АД – ШГНУ – скважина».

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Рассмотрим работу данной модели при прямом пуске асинхронного электродвигателя СК (рис. 4а), мощностью 18,5 кВт, 1500 об./мин. и при пуске АД (рис. 4б) посредством преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией [18, 19].

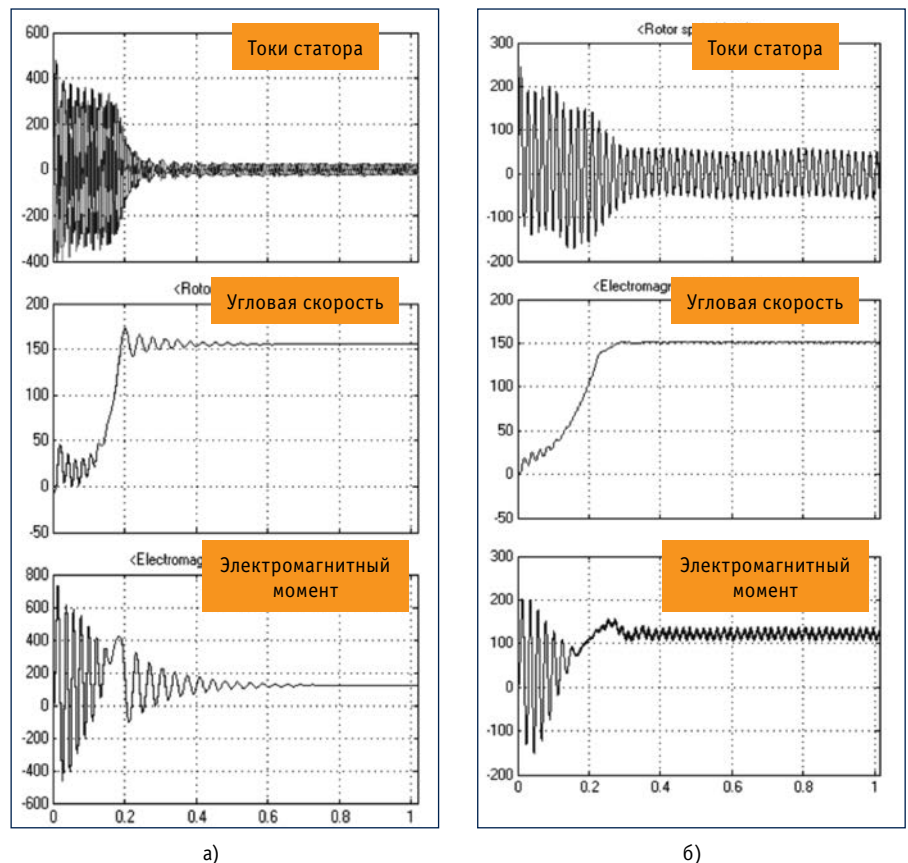


Рис. 4. Графики переходных процессов: а) прямого пуска асинхронного электродвигателя и б) пуска АД от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией

Согласно рисункам 4а и 4б, ударный ток при прямом пуске АД достигает 487 А, а при пуске АД от системы автоматического управления с преобразователем частоты и широтно-импульсной модуляцией (САУ ПЧ с ШИМ) – 293 А, пусковой ток при прямом пуске составляет 397 А, а при пуске АД от САУ ПЧ с ШИМ – 200 А, ударный момент при прямом пуске составляет 736 Нм, а при пуске АД от САУ ПЧ с ШИМ – 200 Нм, пусковой момент при прямом пуске составляет 600 Нм, а при пуске АД от САУ ПЧ с ШИМ – 200 Нм, время переходного процесса при прямом пуске составляет 0,6 сек, а при пуске АД от САУ ПЧ с ШИМ – 0,35 сек.

Данные графики показывают работоспособность и адекватность модели АД при прямом пуске и при пуске АД от системы автоматизации с преобразователем частоты и ШИМ с учетом питающей линии, трансформатора, кабеля, фильтра в статорной цепи АД, а также включающей параметры насосной установки и скважины.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Полученные путем математического моделирования графики переходных процессов (рис. 4а и 4б) – прямого пуска асинхронного электродвигателя (а) и пуска АД от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией (б) можно представить в виде таблицы.

Анализ графиков переходного процесса пуска электродвигателя показывает, что при прямом пуске под нагрузкой ударный момент составляет 736 Нм, ударный ток – 487 А, пусковой ток – 397 А, пусковой момент – 600 Нм. Многократное увеличение пусковых параметров характерно для выбранного типа асинхронного электродвигателя. Однако учитывая тот факт, что согласно паспортным характеристикам АД, номинальный пусковой ток не должен превышать 256 А, а номинальный пусковой момент – 280 Нм, можно сделать вывод, что ресурс электродвигателя будет значительно снижаться вслед-



Foremost

всегда был передовой компанией. Предприятие продолжает занимать лидирующие позиции благодаря инновационным разработкам, усовершенствованию производственного процесса и инвестициям в людей и технологии.



FOREMOST

«Формост Индастриз» – инновационная канадская компания мирового класса, один из лидеров в проектировании и производстве высококомбинированной вездеходной техники, предназначенной для транспортировки тяжелых грузов, бурового оборудования.

«Формост» – это уникальные технологические решения, прогрессивные методы производства, высокая эффективность.

ООО «Формост Мэлони Индастриз Лимитед»

119180, РФ, г. Москва, ул. Малая Полянка, 12А, офис 11; тел.: +7 (495) 234-95-69; факс (495) 234-98-16; e-mail: foremost@comail.ru; www.foremost.ca
г. Сургут, Андреевский заезд, д. 7; тел.: +7 (982) 413-05-67

Таблица. Анализ результатов математического моделирования

Параметр переходного процесса	Прямой пуск	Пуск от САУ ПЧ с ШИМ	Расхождение	
			Знач.	%
Угловая скорость, рад/сек	157	153	3	2
Перерегулирование по угловой скорости, %	175	153	22	17
Ударный ток, А	487	293	194	66
Ударный момент, Нм	736	200	536	268
Пусковой ток, А	397	200	197	98,5
Пусковой момент, Нм	600	200	400	200
Время переходного процесса, сек	0,6	0,35	0,25	71,5
Переменные потери мощности, Вт	1021	664	357	54
Средняя активная потребляемая мощность, Вт	32810	20900	11910	57
Коэффициент полезного действия, %	19	67	48	–

ствии действия значительных динамических нагрузок и инерционных масс СК. Это может привести к снижению межремонтного периода скважины и увеличению затрат от ее простоя и потерь нефти.

Согласно анализу результатов математического моделирования (табл.), видно, что при пуске электродвигателя от системы автоматического управления с преобразователем частоты и широтно-импульсной модуляцией перерегулирование по угловой скорости снижается на 17%, точность поддержания значения угловой скорости увеличивается на 2%, значение ударного тока уменьшается на 66%, значение ударного момента уменьшается на 268%. Также снижаются значения пускового тока на

98,5% и пускового момента на 200%, время переходного процесса уменьшается на 71,5%.

В заключение можно сделать следующие основные выводы:

- система автоматического управления с преобразователем частоты и широтно-импульсной модуляцией позволяет повысить качество переходного процесса пуска АД путем уменьшения пусковых и ударных токов на 98,5 и 66% соответственно в сравнении с прямым пуском, а также путем оптимального подбора пусковых и ударных моментов, значения которых в 2 и 2,7 раза соответственно ниже относительно прямого пуска. Это обеспечивает уменьшение колебаний электромагнитного момента и угловой скорости при их выходе на рабочее зна-

чение, а также уменьшение на 71,5% времени переходного процесса;

- в переходном процессе пуска на 54% снижаются переменные потери мощности, на 57% уменьшается средняя активная потребляемая мощность, на 48% увеличивается коэффициент мощности, обеспечивается плавный пуск электродвигателя, что ведет к снижению количества часов простоя скважины, меньшему числу отказов оборудования и увеличению межремонтного периода (в среднем в два раза);

- также при пуске с помощью системы автоматизации с преобразователем частоты и широтно-импульсной модуляцией наблюдается увеличение точности на 2% угловой скорости и уменьшение перерегулирования на графике угловой скорости на 17%, что обусловлено ходом плунжера и динамической нагрузкой на штоке.

Таким образом, разработанная математическая модель, учитывающая параметры системы «питающая сеть – трансформатор – кабель – фильтр – АД – ШГНУ – скважина» позволяет исследовать динамические режимы работы и пусковые процессы как при прямом пуске АД ШГНУ, так и от системы автоматизации с преобразователем частоты и широтно-импульсной модуляцией. Также данная модель позволяет производить оценку энергетических показателей динамики работы системы автоматизации с ПЧ и ШИМ относительно классической схемы без преобразователя частоты.

Литература:

1. Якимов С.Б., Клусов А.А., Баринов А.А. Линейный привод ШГН. Первый опыт применения в России // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2013. – № 8. – С. 50–57.
2. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Булат А.В. Системы защиты скважинного оборудования от механических примесей // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2010. – № 9. – С. 62–67.
3. Адонин А.Н. Добыча нефти штанговыми насосами. – М.: Недра, 1979.
4. Вирновский А.С. Теория и практика глубинно-насосной добычи нефти. – М.: Недра, 1971.
5. Ивановский В.Н. Научные основы создания и эксплуатации насосного оборудования для добычи нефти в осложненных условиях из мало- и среднедебитных скважин: Автореф. дис. доктора техн. наук. – М., 1999. – 50 с.
6. Нгуен Ле Минь. Совершенствование гидроприводов штанговых насосов на основе выбора рационального закона движения выходного звена: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1991. – 22 с.
7. Ивановский В.Н., Садчиков Н.В., Улюмджиев А.С. К вопросу оптимизации закона движения выходного звена привода скважинной штанговой насосной установки // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2012. – № 5. – С. 86–90.
8. Кулешов С. Увеличение добычи нефти с VLT SALT // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2010. – № 10. – С. 54.
9. Смирнов А.О., Ланграф С.В., Казаков В.С., Бекишев Р.Ф. Исследование динамических режимов работы частотно-управляемого асинхронного электропривода в условиях низких температур // Известия ТПУ. – 2011. – № 4. – С. 107–110.
10. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
11. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001. – 274 с.
12. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
13. Нугаев И.Ф., Искужин Р.В. Комплекс математических моделей для решения задач синтеза алгоритмов управления процессами в нефтедобывающих скважинах // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16. – № 8 (53). – С. 36–44.

14. Хисамутдинов Н.И. Проблемы сохранения продуктивности скважин и нефтенасыщенных коллекторов в заключительной стадии разработки. – СПб.: Недра, 2007.
15. Белоусенко И.В., Шварц Г.Р., Великий С.Н., Ершов М.С., Яризов А.Д. Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике нефтегазовой промышленности. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 478 с.
16. Сагдатуллин А.М., Емекеев А.А. Схема комплексной автоматизации электропривода насосной станции: Патент России № 136504, заявка № 2013131974/07 (047770). Дата приоритета: 09.07.2013.
17. Сагдатуллин А.М. Программа изучения системы управления высоковольтным асинхронным электроприводом: Свидетельство № 2014611769. Зарег. 10 февраля 2014 г. – М.: Роспатент, 2014.
18. Сагдатуллин А.М. Система управления высоковольтным асинхронным электроприводом: Свидетельство № 2014612227. Зарег. 21 февраля 2014 г. – М.: Роспатент, 2014.
19. Сагдатуллин А.М., Каяшев А.И., Емекеев А.А. Заявка № 2013151910/07 (080943). Дата подачи заявки: 21.11.2013.

UDC 622.276.53.054.22:621.3

A.M. Sagdatullin, PhD candidate of Almet'yevsk State Oil Institute, e-mail: saturn-s5@mail.ru

Development of the automation system mathematical model for the sucker rod pump electric drive

This paper deals with the method for enhancing the sucker rod pump (SRP) efficiency on the basis of the frequency converter (FC) with pulse-duration modulation (PDM). It contains the development of the SRP electric drive mathematical model facilitating the research into the transition processes of the dynamic system start-up, including mains, transformer, cable, induction motor (IM), SRP. This paper also elaborates the equivalent circuit of the plant in question and also its mathematical description both under direct start-up and the IM start up from the frequency converter with pulse-duration modulation. Graphs of current, angular speed, electromagnetic torque depending on the time and subject to the dynamic load borne by the electric motor shaft are obtained.

Keywords: modeling, energy efficiency, electric drive, sucker rod pump, deep well pump, frequency converter with pulse-duration modulation, induction electric motor.

References:

1. Yakimov S.B., Klusov A.A., Barinov A.A. Lineinyi privod ShGN. Pervyi opyt primeneniya v Rossii (Linear sucker-rod pump drive. First experience of application in Russia) // NEFTEGAZ Territory. – 2013. – No. 8. – P. 50–57.
2. Ivanovskiy V.N., Sabirov A.A., Bulat A.V. Sistemy zatshitnogo skvazhinного oborudovaniya ot mekhanicheskikh primesei (Systems for well equipment protection against mechanical impurities) // NEFTEGAZ Territory. – 2010. – No. 9. – P. 62–67.
3. Adonin A.N. Dobycha nefiti shtangovymi nasosami (Oil production with sucker rod pumps). – Moscow: Nedra, 1979.
4. Virnovskiy A.S. Teoriya i praktika glubinnno-nasosnoi dobychi nefiti (Subsurface pump oil production, theory and practice). – Moscow: Nedra, 1971.
5. Ivanovskiy V.N. Nauchnye osnovy sozdaniya i ekspluatatsii nasosnogo oborudovaniya dlya dobychi nefiti v oslozhnennykh usloviyakh iz malo- i srednebitnykh skvazhin (Scientific basis for construction and operation of pumping equipment for oil production in complicated environment from low and medium flow rate wells): Synopsis of Thesis, Doctor of Technical Science – Moscow, 1999. – 50 p.
6. Nguen Le Min. Sovershenstvovanie gidroprivodov shtangovykh nasosov na osnove vybora ratsional'nogo zakona dvizheniya vykhodnogo zvena (Improvement of the sucker rod pumps hydraulic drives based on selection of a rational output element motion law): Synopsis of Thesis, Doctor of Technical Science – Moscow, 1991. – 22 p.
7. Ivanovskiy V.N., Sadchikov N.V., Ulyumdzhiyev A.S. K voprosu optimizatsii zakona dvizheniya vykhodnogo zvena privoda skvazhinnoi shtangovoi nasosnoi ustanovki (On optimization of the output element motion law at the sucker rod pump drive) // NEFTEGAZ Territory. – 2012. – No. 5. – P. 86–90.
8. Kuleshov S. Uvelichenie dobychi nefiti s VLT SALT (Enhancing oil production with VLT SALT) // NEFTEGAZ Territory. – 2010. – No. 10. – P. 54.
9. Smirnov A.O., Langraf S.V., Kazakov V.S., Bekishev R.F. Issledovanie dinamicheskikh rezhimov raboty chastotno-upravlyaemogo asinkhronnogo elektroprivoda v usloviyakh nizkikh temperatur (Research into the dynamic modes of the frequency controlled induction electric drive operation under low temperatures) // Izvestiya TPU. – 2011. – No. 4. – P. 107–110.
10. Shreyner R.T. Matematicheskoe modelirovanie elektroprivodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovatelyami chastoty (Mathematical modeling of the alternating current electric drives with semiconductor frequency converters). – Yekaterinburg: Ural Division of the Russian Academy of Science, 2000. – p. 654.
11. Kopylov I.P. Matematicheskoe modelirovanie elektricheskikh mashin (Mathematical modeling of electrical machines). – Moscow: Vysshaya Shkola, 2001. – 274 p.
12. Basharin A.V., Novikov V.A., Sokolovskiy G.G. Upravlenie elektroprivodami (Electric drive control). – Leningrad: Energoizdat, 1982. – 392 p.
13. Nugayev I.F., Iskuzhin R.V. Kompleks matematicheskikh modelei dlya resheniya zadach sinteza algoritmov upravleniya protsessami v nefteoboyvayutshikh skvazhinakh (Mathematical model package for solving the task of synthesizing algorithms of process control in oil production wells) // – 2012. – T. 16. – No. 8 (53). – P. 36–44.
14. Khisamutdinov N.I. Problemy sokhraneniya produktivnosti skvazhin i neftenasytshennykh kollektorov v zaklyuchitel'noi stadii razrabotki (The problem of preserving the capacity of wells and oil saturated reservoirs at the final development stage). – SPb.: Nedra, 2007.
15. Belousenko I.V., Schwarz G.R., Velikiy S.N., Yershov M.S., Yarizov A.D. Novye tekhnologii i sovremennoe oborudovanie v elektroenergetike (New technologies and modern equipment in the oil industry power engineering). – Moscow: Nedra Business Center LLC, 2007. – 478 p.
16. Sagdatullin A.M., Yemekeyev A.A. Skhema kompleksnoi avtomatizatsii elektroprivoda nasosnoi stantsii (Comprehensive automation diagram of the pump plant electric drive): Russian patent No. 136504, application No. 2013131974/07 (047770). Priority date: 09.07.2013.
17. Sagdatullin A.M. Programma izucheniya sistemy upravleniya vysokovol'tnym asinkhronnym elektroprivodom (Program for studying the control system of the high voltage induction electric drive): Certificate No. 2014611769. Registered on February 10, 2014. – Moscow: Rospatent, 2014.
18. Sagdatullin A.M. Sistema upravleniya vysokovol'tnym asinkhronnym elektroprivodom (Control system of the high voltage induction electric drive): Certificate No. 2014612227. Registered on February 21, 2014. – Moscow: Rospatent, 2014.
19. Sagdatullin A.M., Kayashev A.I., Yemekeyev A.A. Application No. 2013151910/07 (080943). Application submitted on 21.11.2013.