

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ДИНАМИЧЕСКОГО МОМЕНТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ (ПЭД) ПРИ РАСКЛИНИВАНИИ ПОГРУЖНОГО НАСОСА (ЦН)

В.А. Ведерников, О.А. Лысова, Р.Р. Лопатин

(Тюменский государственный нефтегазовый университет)

В работе приведено исследование влияния продолжительности времени изменения управляющего сигнала на входе системы автоматического управления преобразователем частоты на величину динамического момента ПЭД при расклинивании рабочих колес ЦН, а также предложен алгоритм превентивного "расклинивания" ЭЦН.

Ключевые слова: электроцентробежная насосная установка, управление, насос, погружной электродвигатель, заклинивание.

Известно, что одной из основных причин отказов (~ 70%) погружных электроцентробежных насосных установок (УЭЦН) на месторождениях Западной Сибири является "подклинивание" рабочих колес насоса и появление дополнительной составляющей $M_{доп}$ статического момента в результате солеотложения и засорения их механическими примесями. Последние, как правило, являются теми же самыми солями, которые не отложились на поверхностях скважинного оборудования, а выпали в качестве твердого осадка и затем попали вместе с потоком жидкости внутрь насоса. В самом насосе соль отлагается в рабочих органах: в первую очередь, на первых и последних ступенях насоса — до 45% и 21% соответственно. До 21% солей в сумме оседает в колонне насосно-компрессорных труб (НКТ), газосепараторе и на корпусе погружного электродвигателя. И, наконец, до 13% солей отлагается по всей внутренней поверхности корпуса насоса, так как повышение в процессе работы температуры двигателя влечет за собой уменьшение растворимости карбонатных солей и увеличение интенсивности их выпадения [1].

Процессы солеотложения и выноса механических примесей в рабочие органы насоса индивидуальны для каждой скважины и достаточно сложны для прогнозирования. Однако в общем случае наблюдается тенденция увеличения момента нагрузки на валу двигателя вплоть до полного заклинивания насоса. Это происходит при достижении моментом статической нагрузки ПЭД значения критического момента $M_{кр}$.

Очевидно, что для расклинивания рабочих колес необходимо создание на валу ЭЦН положительного динамического момента $M_{дин}$, то есть исходя из основного уравнения движения электропривода:

$$M - M_s = J \frac{d\omega}{dt} > 0,$$

где M — электромагнитный момент погружного электродвигателя (ПЭД); M_s — статический момент нагрузки на валу ПЭД; J — момент инерции электропривода насоса; ω — угловая скорость вращения.

До недавнего времени процесс расклинивания рабочих колес насоса производился путем осуществления нескольких пусков в сочетании с реверсами ПЭД.

Однако в последние годы на нефтедобывающих предприятиях имеет место интенсивное внедрение

частотно-регулируемых электроприводов (ЧРП) погружных установок, что позволяет расширить диапазон возможных способов расклинивания рабочих колес насоса. У большинства заводов-изготовителей станций управления для УЭЦН, в состав которых входит преобразователь частоты (ПЧ), уже реализованы алгоритмы расклинивания. Указанные алгоритмы осуществляют создание динамического момента во время осложненного пуска УЭЦН за счет увеличения величины U питающего напряжения при его неизменной частоте. Но они являются несовершенными и не всегда позволяют достичь желаемого результата, так как не учитывают состояние погружного оборудования во время расклинивания, что часто приводит к таким нежелательным последствиям, как срыв шпонок, слом вала насоса, перегрев электродвигателя и пробой изоляции статорной обмотки ПЭД, кабельной линии и др.

Исследования, проведенные на математической модели системы "ПЧ — ПЭД", показали, что наиболее эффективным способом расклинивания ЭЦН является создание динамического момента $M_{дин}$ путем снижения частоты f питающего напряжения при его неизменной величине. Причем разработанные рекомендации позволяют оценить состояние заклинившегося насосного оборудования и выбрать условия расклинивания, когда при максимальном допустимом моменте ПЭД ток цепи статора имеет минимально возможное значение, что облегчает процесс расклинивания с точки зрения нагрева электродвигателя [2, 3].

Однако необходимо иметь в виду, что, с одной стороны, динамический момент должен иметь как можно большую величину для повышения вероятности расклинивания насоса, но с другой, — увеличение динамического момента влечет за собой появление ударов с механической части привода и гидравлических ударов в НКТ, что ведет к повышению износа механического оборудования и соответственно к уменьшению межремонтных периодов (МРП).

Одним из способов регламентации величины динамического момента является регулирование продолжительности приложения сигнала управления выходной частотой ПЧ.

Поэтому целью данной работы является исследование влияния продолжительности t_z изменения уп-

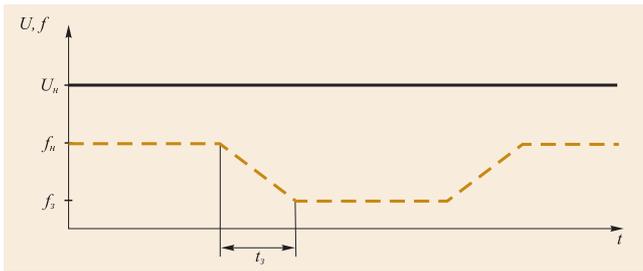


Рис. 1. Диаграмма изменения величины и частоты напряжения задания на входе ПЧ при превентивном расклинивании ЭЦН для одного толчка

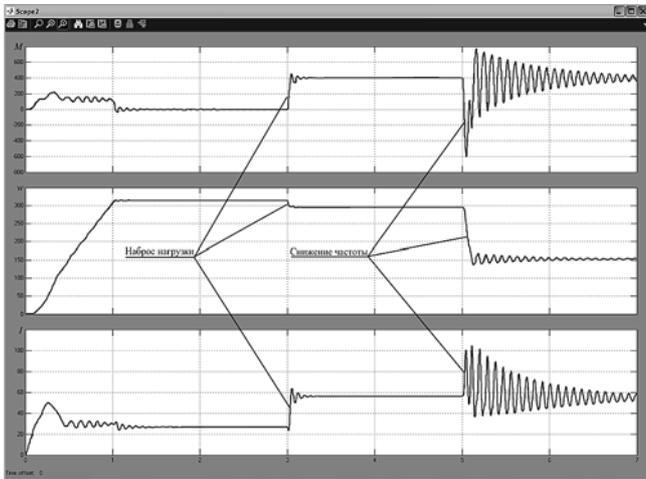


Рис. 3. Кривые переходных процессов ПЭД при пуске, набросе нагрузки и снижении частоты напряжения питания

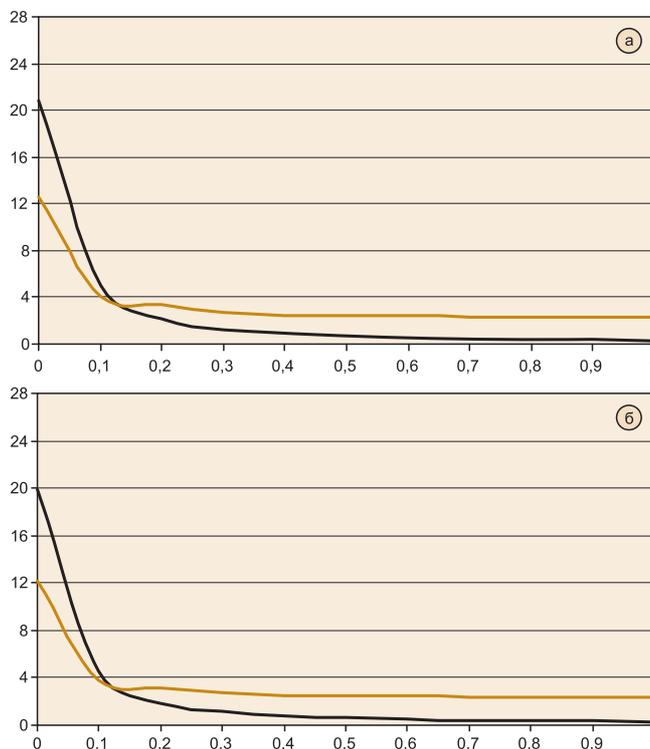


Рис. 4. Кривые зависимости максимальных значений динамического момента M_{din}^* и тока статора Γ от t_z при снижении частоты от 1 до $0,5f_n$ для $M_s = 2M_n$ (а) и $M_s = 2,5M_n$ (б)

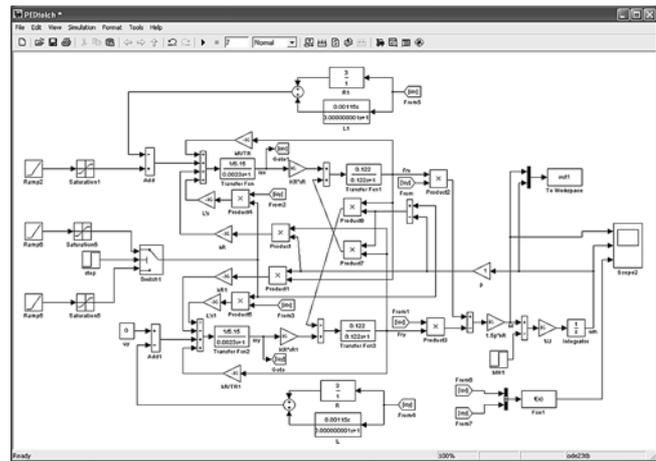


Рис. 2. Схема математической модели ПЭД с учетом сопротивления длинного кабеля

равляющего сигнала на входе системы автоматического управления преобразователем частоты на величину динамического момента ПЭД при расклинивании рабочих колес ЦН.

На рис. 1 приведена диаграмма изменения напряжения задания на входе ПЧ при превентивном расклинивании ЭЦН путем снижения частоты питающего напряжения. Исследования проводились для $t_z = 0 \dots 1$ с, который был определен методом поэтапного решения частных задач.

Для проведения исследований в среде Matlab/Simulink была разработана математическая модель системы ПЧ – ПЭД с учетом сопротивления длинного кабеля [4]. На рис. 2 приведена схема указанной модели.

Исследования проводятся для следующих случаев:

- пуск установки в режиме идеального холостого хода ПЭД;
- наброс нагрузки. Так как моделирование производится для режимов превентивного расклинивания и расклинивания после заклинивания насоса, то для первого случая принят момент статический $M_s = 2M_n$, а для второго – $M_s = 2,5M_n$ (где M_n – номинальное значение момента ПЭД, $\lambda = 2,5$ – перегрузочная способность ПЭД);
- снижение частоты напряжения питания при различных значениях t_z . Величина, на которую снижается частота напряжения питания, выбирается согласно методике [2, 3].

На полученных кривых переходных процессов фиксировались значения максимального динамического момента и максимального тока статора. На рис. 3 показаны кривые переходных процессов для момента M двигателя, угловой скорости ω вращения ПЭД и тока I статора соответственно.

Полученные кривые зависимости максимальных значений динамического момента M_{din}^* (черная линия) и тока цепи статора Γ (рыжая линия) от t_z в относительных единицах (базовыми величинами здесь являются номинальные значения момента, тока и частоты

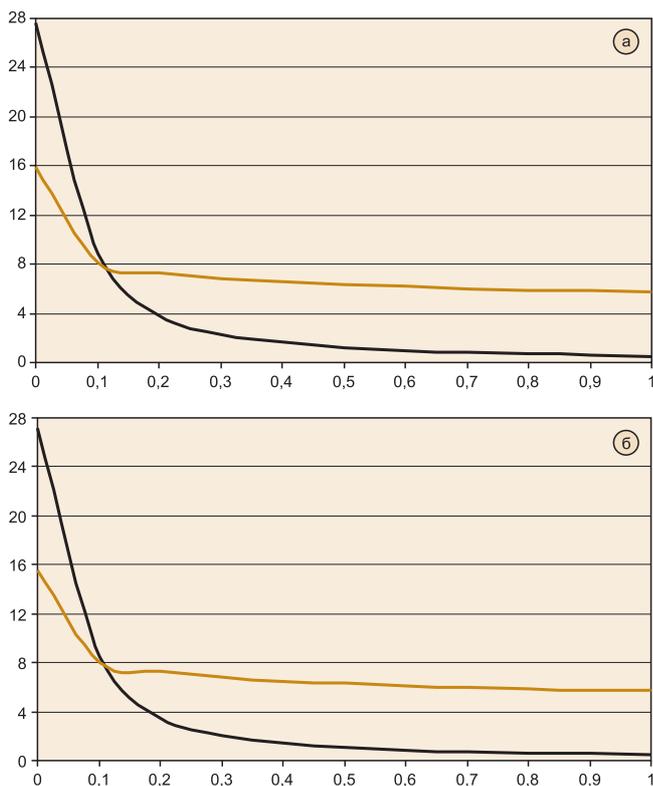


Рис. 5. Кривые зависимости максимальных значений динамического момента M_{din}^* и тока статора I^* от t_z при снижении частоты от 1 до $0,2f_n$ для $M_s = 2M_n$ (а) и $M_s = 2,5M_n$ (б)

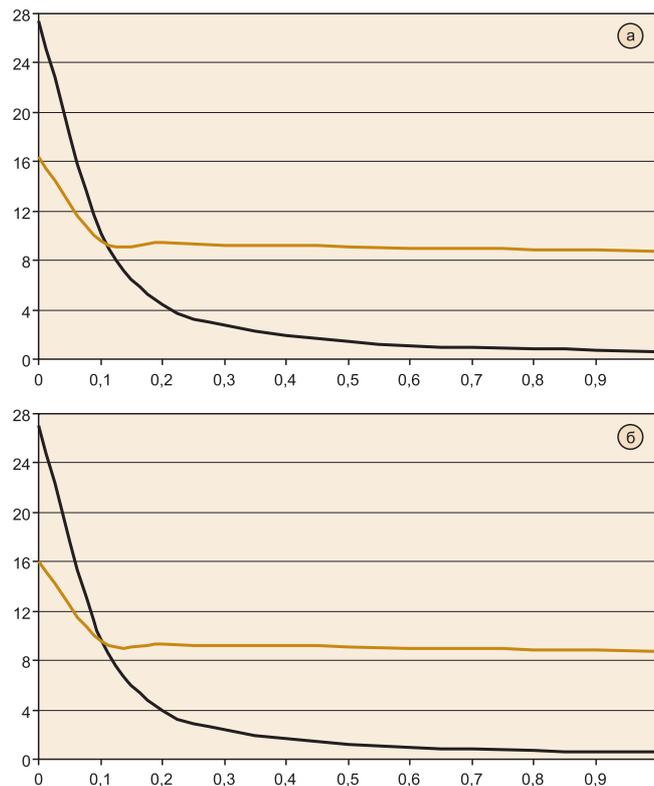


Рис. 6. Кривые зависимости максимальных значений динамического момента M_{din}^* и тока статора I^* от t_z при снижении частоты от 1 до $0,1f_n$ для $M_s = 2M_n$ (а) и $M_s = 2,5M_n$ (б)

напряжения питания соответственно) представлены на рис. 4, 5 и 6.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы для данного типа ПЭД в составе ЭЦН:

- максимальные величины M_{din} находятся в диапазоне значений $t_z = 0 \dots 0,1$ с и сопровождаются значительными токами, что в процессе расклинивания может привести к быстрому перегреву ПЭД и поломке механических узлов ЦН;

- при $t_z > 0,3$ с динамический момент, как и ток, изменяются незначительно и могут считаться постоянными величинами ($M_{din} = const$ и $I = const$). В данном случае при одинаковой величине тока статора динамический момент будет наименьшим из всего диапазона значений, то есть процесс расклинивания будет неэффективным;

- наиболее целесообразным является выбор t_z в диапазоне $0,1 \dots 0,3$ с, где ток имеет постоянную и минимальную величину, а динамический момент — максимально допустимое зна-

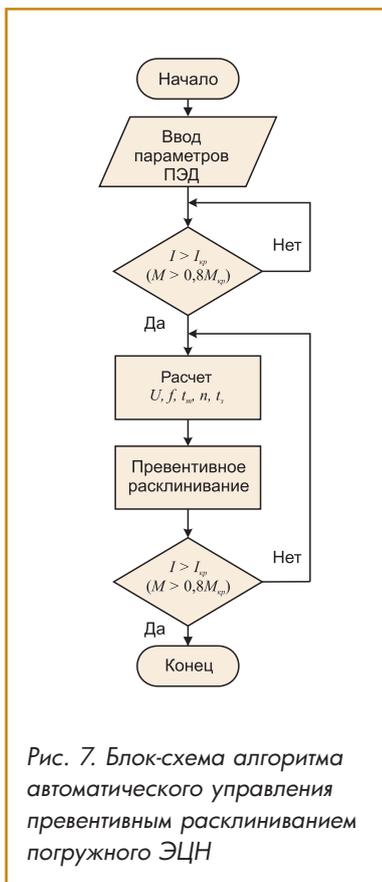


Рис. 7. Блок-схема алгоритма автоматического управления превентивным расклиниванием погружного ЭЦН

чение. Причем значение динамического момента следует выбирать автоматически из условия получения оптимального МРП;

- так как для защиты ПЭД от перегрузки контролируется ток его статорной цепи, то для предотвращения заклинивания ЭЦН в каждый данный момент времени осуществляется сравнение тока цепи статора двигателя I с принятым критическим значением тока I_{cr} . Если $I \geq I_{cr}$, то, согласно [2, 3] производятся вычисления величины U и частоты f напряжения питания, при которых будет происходить превентивное расклинивание, продолжительность t_i и число n расклинивающих толчков и время t_z приложения управляющего воздействия, определяемое постоянной времени задатчика интенсивности;

- время t_z определяется условиями нагрева ПЭД [3] и получения оптимального МРП;

- на рис. 7 представлена блок-схема алгоритма превентивного расклинивания ЭЦН;

- на основании проведенного расчета производится серия расклинивающих толчков, после каждого из которых осуществляется сравнение тока статора двигателя I с критическим значением тока I_{cr} ;

- процесс расклинивания прекращается и УЭЦН переходит к обычному режиму отбора жидкости из пласта, когда ток двигателя становится ниже критического значения;

- в связи с тем, что в алгоритме расчета параметров процесса "расклинивания" учтены условия нагрева ПЭД и выбран оптимальный МРП, число расклинивающих толчков не регламентировано.

Список литературы

1. *Ивановский В.Н.* Анализ существующих методик прогнозирования солеотложения на рабочих органах УЭЦН // Инженерная практика. 2009. №1.
2. *Ведерников В.А., Лысова О.А., Лопатин Р.Р.* Исследование и анализ параметров процессов системы "ПЧ-ПЭД" при "расклинивании" погружных центробежных насосов // Энергетика Тюменского региона. 2009. №4.
3. *Ведерников В.А., Лысова О.А., Лопатин Р.Р.* Исследование и анализ процессов нагрева погружного электродвигателя при управлении "расклиниванием" насосов установок добычи нефти // Вестник ИжГТУ. 2010. №2.
4. *Герман-Галкин С.Г.* Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век. 2008.

Ведерников Владимир Александрович – д-р техн. наук, проф.,

Лысова Ольга Александровна – канд. техн. наук, доцент, Лопатин Руслан Равилевич – аспирант.

Тюменского государственного нефтегазового университета.

Контактный телефон (3452) 41-81-11. E-mail: rr_lopatin@bk.ru

Новинки от компании Beckhoff на выставке Automatica (г. Мюнхен, Германия)

8-11 июня 2010 г. прошла международная торговая выставка Automatica (г. Мюнхен, Германия), посвященная автоматизации и мехатронике, где были представлены решения в области робототехники, сборки и погрузки-разгрузки. Компания Beckhoff продемонстрировала свою технологию управления на основе ПК и EtherCAT, управление позиционированием и решения по обеспечению безопасности, а также ПО TwinCAT с интегрированными библиотеками для управления роботами. TwinCAT поддерживает различную параллельную и последовательную кинематику, необходимую для решения задач, связанных с транспортировкой и перемещением. Новым продуктом явилась TwinCAT-кинематика для роботизированных механизмов с системой 6 D-тросов.

TwinCAT – единая платформа управления робототехническим комплексом, позиционированием и ПЛК

Расширение пакета TwinCAT функциями кинематики роботов позволяет осуществлять интеграцию роботов, а также их взаимодействие и синхронизацию с функциями ПЛК и управления позиционированием. Все это в результате ведет к безупречной интеграции в общую систему управления, а также позволяет обходиться без дополнительных компьютеров для управления роботами. ПО TwinCAT Kinematic Transformation поддерживает следующие типы кинематики: перемещений, роллеров/валиков (H Bot), SCARA, 2-D, 2-D параллельная и 3-D дельта, картезианский портал.

На выставке Automatica компания Beckhoff представила действующую модель своего нового продукта – расширения ПО TwinCAT с помощью 6-D кинематики для тросовых роботизированных механизмов. Преимущества использования таких механизмов в задачах, связанных с перемещением, обеспечиваются благодаря их механической конструкции: сложные карбоновые тяги заменяются экономичными тросами, сервомотор можно располагать более удобно (например, в нижней части робота), а диапазон вращения и наклона механизма захвата детали может быть увеличен.

EtherCAT – максимальная производительность на основе промышленного Ethernet

Сеть EtherCAT в настоящее время для многих роботов стала стандартом коммуникации. Использование быстрой промышленной шины в области роботизации имеет ряд преимуществ: позволяет осуществлять обновление данных имиджа процесса за короткий промежуток времени (50 мкс); обеспечивает коммуникации (вплоть до регулятора тока); позволяет осуществлять управление осями в контроллере, включая соответствующую функцию движения; объединяет возможнос-

ти резервирования, "горячего подключения" и "горячей замены".

Компания Beckhoff предлагает большой выбор устройств ввода/вывода EtherCAT для подключения всей сенсорной техники и исполнительных устройств к робототехническому комплексу, сборочным линиям, а также подъемно-разгрузочному оборудованию. Производятся полнофункциональные линейки модулей с классом защиты IP 20 для всех важных типов сигналов и модули EtherCAT Box с классом защиты IP 67. Компактный дизайн и небольшой вес модулей EtherCAT Box облегчает их применение на движущихся объектах, например, на роботизированном манипуляторе. В обеих системах ввода/вывода протокол EtherCAT функционирует полностью, вплоть до отдельного модуля, делая возможной реализацию с очень коротким временем реагирования.

На выставке компания Beckhoff представила новое поколение EtherCAT модулей ввода/вывода высокой плотности размещения контактов, имеющие по 16 точек соединения в типовом 12 мм корпусе. Появились также 16-канальные модули EtherCAT Box с оптимизированной конструкцией, облегчающей процесс монтажа и существенно снижающей стоимость. 16-канальные модули будут выпускаться с различными вариациями входов/выходов.

TwinSAFE – безопасная передача данных

Уровень безопасности передачи данных вплоть до SIL 3 МЭК 61508 возможен благодаря использованию протокола TwinSAFE. ПАЗ-модули ввода/вывода доступны для систем EtherCAT Terminals и EtherCAT Box. ПАЗ-контроллер EL6900 может обслуживать до 128 ПАЗ-модулей на шине EtherCAT. В ПАЗ-контроллер интегрированы 256 функциональных блоков, которые конфигурируются или программируются в зависимости от целей применения.

Природосберегающие технологии автоматизации

Одним из наиболее привлекательных направлений выставки Automatica-2010 являются природосберегающие технологии автоматизации. В представлении компании Beckhoff эти технологии должны обеспечивать энергосбережение при работе станков, заводов и зданий, использующих компоненты оборудования с развитой логикой и интеллектуальное ПО. На выставке Automatica компания Beckhoff представила решения и продукцию для мониторинга параметров энергетики, управления позиционированием с современными сервотехнологиями, XFC (eXtreme Fast Control Technology) для быстрого и четкого реагирования во избежание потерь энергии, а также промышленные ПК с энергосберегающими процессорами на базе Intel® Atom™.

Контактный телефон (495) 981-64-54. E-mail: russia@beckhoff.com Http://www.beckhoff.ru