

## СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА В ТЯЖЕЛЫХ И АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

*Н.Г. Перебаскин, аспирант гр. А8-28  
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,  
тел. (3822)-606-333  
E-mail: [ngp1@tpu.ru](mailto:ngp1@tpu.ru)*

**Введение.** В настоящее время на нефтедобывающих промыслах Российской Федерации ведется добыча трудноизвлекаемых запасов. Обусловлено это, как и с точки зрения коэффициента нефтеотдачи, так и осложненными условиями, в которых производится добыча нефтяных ресурсов. В связи с этим остается актуальной задача по внедрению инноваций в производственно-технологический процесс [1].

Для эффективного извлечения нефтяных продуктов, преимущественно используют установки электроцентробежных насосов (УЭЦН), которые оснащаются системами управления на базе преобразователей частоты (ПЧ). Но работа такой системы в осложнённых условиях ведет к функционированию оборудования в аварийных и тяжелых режимах. Под тяжелыми и аварийными режимами работы подразумевается то, что электроцентробежный насос (ЭЦН) работает с некоторым увеличением момента на валу, вплоть до точки срабатывания вставки защиты.

Увеличение момента исполнительного двигателя происходит из-за частичного или полного заклинивания ступеней погружного насоса. Заклинивание, как правило, возникает в результате засорения рабочих органов механическими примесями и образования солеотложения на них. Вывод УЭЦН из заклиненного состояния осуществляется так называемыми расклинивающими пусками. Они, в свою очередь, оказывают негативное воздействие на всю погружную систему: вызывают деградацию изоляции обмоток погружного электродвигателя (ПЭД) и кабеля вследствие перегрева, а также, при неудачной попытке расклинить установку, происходит срыв шпонок вала и падение погружного оборудования в скважину. Для дальнейшей эксплуатации скважины требуются дорогостоящие спуско-подъемные операции по замене оборудования.

**Проблема расклинивания УЭЦН.** Расклинивание УЭЦН – это сложный технологический процесс как с точки зрения прогнозирования состояния заклинивания, так и осуществления самой операции по расклиниванию и выводу ЭЦН на рабочую характеристику.

Для решения проблемы заклинивания рабочих узлов УЭЦН, управляемых с помощью ПЧ, в настоящее время применяют встроенные базовые алгоритмы [2]. Наиболее распространенными являются следующие режимы:

- увеличение величины питающего напряжения для осуществления толчкового пуска (рисунок 1а);
- запуск двигателя с «раскачкой», сначала в прямом направлении затем в обратном (рисунок 1б).

Однако, такие способы не удовлетворяют своей эффективностью. К тому же, перед началом процедуры по расклиниванию, необходимо иметь представление о значении момента статического сопротивления. В связи с чем, в работе [2] был произведен ряд улучшений существующих алгоритмов. Автор предлагает производить расчет параметров каждого толчка, таких как амплитуда и частота питающего напряжения, продолжительность действия толчка и паузы, с учетом контроля энергетических потерь в ПЭД. В случае безуспешной попытки расклинивания, производится следующая попытка,

при которой происходит увеличение момента, но уже при меньшем воздействующем периоде.

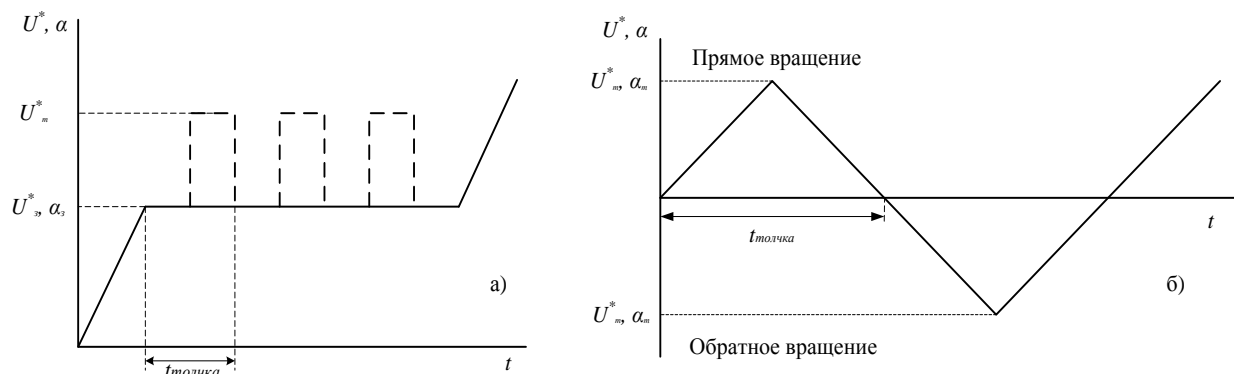


Рис.1. Основные алгоритмы расклинивания УЭЦН: «толчковый» (а), «реверсированием» (б)

**Недостатки существующих методов расклинивания.** В описанных выше способах отсутствует учет влияния расклинивающих толчковых моментов на колонну насосно-компрессорных труб (НКТ). Такие колебания, в свою очередь, вызывают усталостные напряжения, которые способствуют своевременному износу резьбовых соединений НКТ. В конечном итоге это приводит к падению оборудования в скважине. Помимо этого, в современных станциях управления ПЭД отсутствует возможность адекватно оценить состояние электродвигателя в момент расклинивания. Значения тока статора, выступающие в качестве сигнала обратной связи, обладают высокой погрешностью измерения и не позволяют в полной мере судить о динамике электропривода в момент аварии.

**Предлагаемые решения.** Необходимо усовершенствовать ранее разработанные способы расклинивания погружных установок. При этом необходимо учитывать влияние механических воздействий системы НКТ-УЭЦН.

Для предотвращения механических повреждений в системе НКТ-УЭЦН, в момент расклинивания предлагается разработать квалитетрический признак, который позволял бы оценивать негативное воздействие расклинивающих усилий на всю систему. Для этого необходимо сравнить две переменных состояния, характеризующих поведение НКТ. Затем проанализировать переходные процессы ранее описанных алгоритмов и предлагаемых путем гармонического анализа, и предложить эффективную альтернативу.

Момент и угловую скорость можно определять, минуя дорогостоящие датчики, которые, к тому же вызывают дополнительные трудности по их размещению внутри скважины. Для этого разработан косвенный метод, реализуемый на основе наблюдателя переменных состояний [3]. В этом случае достаточно сигналов с блока измерения токов и напряжений.

В результате вышеизложенного предлагается система расклинивания, указанная на рисунке 2. Опишем принципы ее функционирования. Для повышения качества питающего напряжения выполняется двойное преобразование электроэнергии: сначала напряжение выпрямляется с помощью неуправляемого трехфазного выпрямителя, затем выпрямленное напряжение подается на автономный инвертор напряжений (АИН), который управляется посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ). С выхода АИН, трехфазное напряжение проходит через синус-фильтр, который выделяет основные гармоники тока и напряжений. После фильтрации гармонического состава, напряжение подается на повышающий трансформатор. В следующем звене устанавливаются датчики тока и напряжений, которые являются основным источником данных о состоянии ПЭД.

Затем, повышенное напряжение с помощью погружного кабеля подводится к обмоткам электродвигателя. Установка центробежного насоса закрепляется на валу ПЭД.

Система расклинивания основана на работе наблюдателя переменных состояний электродвигателя и датчика интенсивности момента.

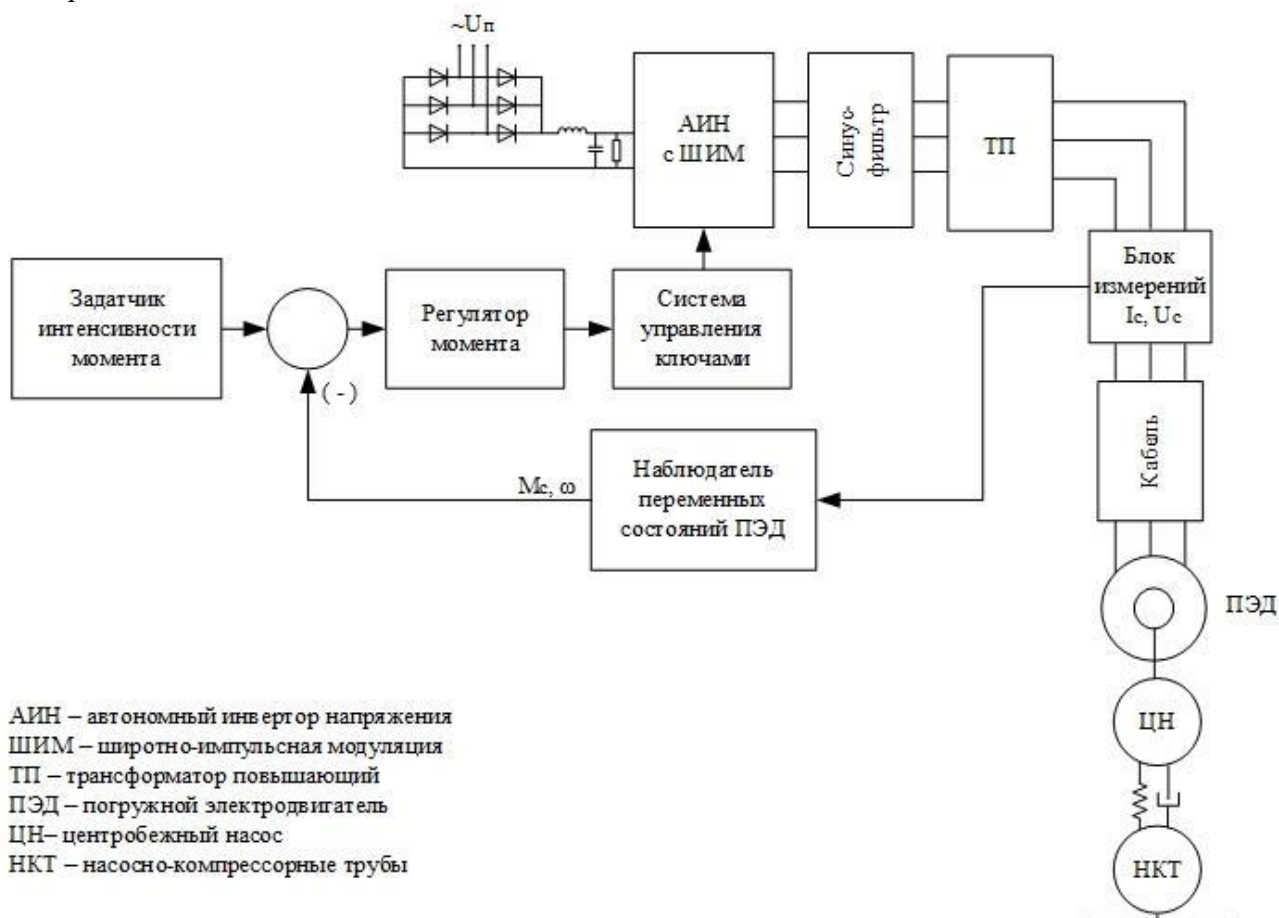


Рис.2. Функциональная схема системы расклинивания УЭЦН

Данные с датчиков тока и напряжений поступают в наблюдатель переменных состояний электродвигателя. После чего сигнал от наблюдателя переменных состояний сравнивается с сигналом датчика интенсивности, осуществляя регулирование момента. Далее сигнал поступает на систему управления ключами АИН, где ШИМ задает величину напряжения для создания необходимого момента по расклиниванию установки.

### Список литературы:

1. Шарф И.В. Борзенкова Д.Н. Трудноизвлекаемые запасы нефти: понятие, классификационные подходы и стимулирование разработки. Фундаментальные исследования. – 2015 – № 2 (часть 16) – С. 3593-3597
2. Лопатин Р.Р. Модели и алгоритмы частотно-регулируемого процесса расклинивания электроцентробежного насоса при добыче нефти в осложненных условиях: дис. канд. тех. наук – Томск, 2011. – 140 с.
3. Глазырин А.С. и др. Разработка наблюдателя полного порядка с оперативным мониторингом момента сопротивления для погружных асинхронных двигателей Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 2. С. 118–126.