



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

ул. Профессора Попова, д.5, Санкт-Петербург, 197376
Телефон: (812) 234-46-51; факс: (812) 346-27-58; e-mail: info@etu.ru; <https://etu.ru>
ОКПО 02068539; ОГРН 1027806875381; ИНН/КПП 7813045402/781301001

Утверждаю

Директор департамента науки
Санкт-Петербургского
государственного электротехнического
университета «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина),

профессор,
адрес: _____

Отзыв

ведущей организации ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» на диссертационную работу **Солодкого Евгения Михайловича** «Управление штанговой скважинной насосной установкой для добычи нефти с наблюдателями переменных состояния технологического процесса» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)

Актуальность работы. Современные концепции управления производственными предприятиями, которые нашли в последнее время свое бурное развитие, особенно в энергоемких производственных процессах, требуют оптимизации производственных циклов, в том числе на уровне используемого оборудования. Известно, что наиболее энергоемким технологическим процессом нефтедобывающих предприятий является механизированная добыча нефти, а основная доля энергопотребления приходится на приводы скважинных насосов. Способ механизированной добычи нефти с использованием электроцентробежных

насосов (УЭЦН) превалирует в РФ, что объясняется в первую очередь интенсификацией добычи нефти, однако при малых и средних дебетах нефти, особенно в европейской части РФ насосная добыча при помощи штанговых глубинных насосов (ШГН) является доминирующей. Использование цепных и линейных приводов ШГН дает объективно более существенные преимущества с точки зрения энергоэффективности процесса добычи нефти по сравнению с балансирными станками-качалками (СК), даже если при управлении последних используются интеллектуальные станции управления. Несмотря на это на многих нефтедобывающих скважинах экономически нецелесообразна замена традиционно используемого СК другими видами приводов. При этом актуальной задачей является повышение энергоэффективности действующего парка оборудования за счет интеллектуализации скважин. Автор диссертации справедливо отмечает, что вопросам бездатчикового управления ШСНУ, обеспечивающего непрерывную работу установки с оптимизацией энергопотребления в цикле качания уделяется крайне малое внимание. При этом использование наблюдателей состояния достаточно хорошо отвечает положениям и тенденциям развития классической теории управления в направлении контроля состояния процесса по измерениям лишь некоторых переменных объекта управления, что дает возможность отказаться от технологических датчиков. Поэтому решение вопросов бездатчикового энергоэффективного управления ШСНУ на базе широко распространенных частотно-регулируемых асинхронных двигателей (АД) является востребованным, и диссертация Солодкого Е.М. безусловно актуальна и перспективна с точки зрения предлагаемых подходов и методов решения поставленных задач.

Общая характеристика содержания работы

В работе представлен обзор существующих систем автоматизированного управления (АСУ) штанговой скважинной насосной установки (ШСНУ). Приводятся основные методы построения САУ ШСНУ с непрерывной и периодической эксплуатацией. Выделяются ключевые параметры исследуемого технологического процесса. Обоснованно приводятся недостатки существующих САУ и для их преодоления предлагается концепция построения САУ ШСНУ с наблюдателями переменных состояния ШСНУ. Ставятся задачи исследования, направленные на достижение поставленной цели исследований.

Автором предлагается метод косвенной оценки переменных состояния технологического объекта по измеряемым параметрам электропривода (токи и

напряжения), который позволяет "восстанавливать" неизвестные (не измеряемые) параметры установки, используемые для работы технологического регулятора САУ.

Разрабатываются аналитические и имитационные модели подсистем ШСНУ. Приведена модель системы бездатчикового управления асинхронным двигателем (АД), включающая в себя адаптивные алгоритмы оценки механической скорости, потокосцепления ротора и электромагнитного момента. Для бездатчикового контроля механической скорости АД обосновывается применение фильтра Калмана, что, в конечном счете, позволяет уменьшить влияние случайных воздействий и шумов измерений на качество управления. Предлагается оригинальный алгоритм оценки потокосцепления ротора, который основан на вычислении производных проекций вектора потокосцепления с помощью релейного алгоритма управления, что позволяет улучшить оценку электромагнитного момента асинхронного двигателя. Обосновывается применение оригинального алгоритма оценки напряжения на полированном штоке, возникающего при свободных колебаниях колонны штанг.

Автором предлагается метод адаптивного управления ШСНУ на основе эталонной настраиваемой модели движения точки подвеса колонны штанг, который позволяет снизить интегральное усилие на полированном штоке вследствие распространения упругой волны в колонне штанг.

Приводятся результаты имитационного моделирования и экспериментальных исследований предлагаемых методов и алгоритмов управления ШСНУ на базе разработанной лабораторно-исследовательской установки, что позволило разработать контроллер энергоэффективного управления ШСНУ. На основе полученных данных проводится оценка энергетической эффективности управления по предложенным методам и алгоритмам управления ШСНУ. Приведены результаты полевых испытаний ШСНУ с разработанным контроллером энергоэффективного управления и получены данные о снижении энергопотребления установки после внедрения разработки на скважине №250 ЦДНГ «Ильинский» Пермского края, что подтверждено соответствующим актом внедрения.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна работы заключается в следующем:

- 1) разработан метод косвенной оценки технологических параметров ШСНУ на основе применения наблюдателя состояния электропривода, использующий редуцированную модель электромагнитных процессов АД и алгоритм наблюдателя

потокосцепления ротора, основанный на специфике вычисления производных проекций вектора потокосцепления;

2) разработаны оригинальные аналитические и имитационные модели системы управления электроприводом, динамических механических нагрузок в элементах СК и технологического процесса добычи нефтяной жидкости с использованием ШСНУ, позволяющие производить расчет энергопотребления установки в различных режимах ее работы.

3) разработан метод адаптивного управления ШСНУ на основе эталонной настраиваемой модели движения точки подвеса колонны штанг, позволяющий реализовать управление скоростью приводного АД в каждом цикле качания балансира СК с поддержанием требуемого динамического уровня нефтяной жидкости с одновременным обеспечением снижения энергопотребления установки.

Достоверность и обоснованность результатов исследований

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается удовлетворительным совпадением результатов имитационного моделирования и экспериментальных исследований, проведенных на полунатурном испытательном стенде, а также успешной апробацией разработанных методов и алгоритмов на действующем производстве в ходе опытно-промысловых испытаний.

Результаты исследований были представлены на всероссийских и международных конференциях. Опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

Практическая значимость полученных автором результатов

В практическом плане важны разработанные автором методы бездатчикового управления ШСНУ, позволяющие без применения дорогостоящей измерительной техники добиваться стабилизации динамического уровня нефтяной жидкости, что снижает простои оборудования на период её накопления в скважине, динамические нагрузки в элементах СК и, что немаловажно, снимает для технического персонала необходимость в проведении выездных динамографических исследований. Автором реализована на практике система частотного управления АД экспериментальной установки с имитатором нагрузки, которая нашла свое применение в учебном процессе вуза, а также разработан контроллер энергоэффективной системы управления ШСНУ для промышленного применения.

Оформление и стиль изложения

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем основной части диссертации составляет 154 страницы, в том числе 83 рисунка и 18 таблиц. Диссертация написана на профессиональном техническом языке и в достаточной мере сопровождается рисунками и таблицами. Приводимые автором факты и цитаты имеют корректные ссылки на первоисточники. Название, форма и содержание диссертационной работы полностью соответствуют специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности). Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации и полученные в ней результаты.

Замечания по диссертационной работе

1) Автором не делается анализ допущений, принятых при проектировании наблюдателей состояния переменных ШСНУ, в частности наблюдателя переменных электропривода. Наличие неисправностей преобразовательной техники или асинхронного двигателя, таких как межвитковое замыкание, выход из строя ключей стойки инвертора могут повлечь некорректные оценки наблюдаемых параметров и привести к неработоспособности САУ ШСНУ.

2) Автором не учтено влияние различного вида осложнений при эксплуатации нефтедобывающих скважин, таких, как отложение парафинов в насосных трубах, образование высоковязких эмульсий, что может привести к некорректной оценке динамического уровня жидкости в скважине по приведенному в работе бездатчиковой методу.

3) Автор не делает разграничения между функциями системы управления электроприводом и САУ ШСНУ. По изложению сначала автор использует общую реализацию всех алгоритмов в виде подпрограмм на одном процессоре, а затем в четвертой главе приводит архитектуру взаимодействия элементов АСУ ТП ШСНУ при проведении ее модернизации, предлагая контроллер ШСНУ, который уже является внешним управляющим органом по отношению к электроприводу. Логично было бы с самого начала работы разграничить функции САУ ШСНУ и системы управления асинхронным двигателем.