

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

доктора технических наук, доцента, доцента кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Хакимьянова Марата Ильгизовича на диссертационную работу Солодкого Евгения Михайловича «Управление штанговой скважинной насосной установкой для добычи нефти с наблюдателями переменных состояния технологического процесса», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)

### **Актуальность темы исследования**

В современных экономических условиях во многих отраслях промышленности ставятся вопросы снижения издержек при производстве, что определяет необходимость разработки и внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий. Не является исключением и нефтегазовая отрасль, так как современное состояние нефтедобычи требует решения задач по оптимизации работы добывающего оборудования и повышению производительности скважин. Для этого разрабатываются и внедряются многие технические решения, использующие микропроцессорные средства и устройства автоматики. При механизированной добыче штанговыми скважинными насосными установками (ШСНУ) используются интеллектуальные станции управления, содержащие специализированные контроллеры и преобразовательную технику.

Однако существующие решения для реализации энергоэффективной работы ШСНУ требуют контроля ряда параметров технологического объекта управления. В связи с этим задачи по автоматизации ШСНУ с автоматическим регулированием уровня жидкости в скважине посредством применения наблюдателей переменных состояния технологического процесса являются актуальными. В своем диссертационном исследовании Солодкий Е.М. решает задачи, направленные на повышение энергоэффективности работы ШСНУ на основе контроля только переменных состояния собственно частотно-регулируемого электропривода балансирующего станка-качалки (СК).

### **Общая характеристика содержания диссертации и опубликованных работ**

В диссертационной работе произведен достаточно полный обзор существующих систем автоматического управления (САУ) ШСНУ, рассмотрены проблемы их функционирования с точки зрения надежности и энергоэффективности, современные способы их решения, а также предложены собственные подходы, учитывающие достигнутый уровень развития современной науки и микропроцессорной техники.

Предложенная Солодким Е.М. концептуальная структура системы бездатчикового управления ШСНУ, отличающаяся использованием наблюдателей состояния переменных электропривода и технологического объекта управления и обеспечивающая возможности повышения энергоэффективности технологического процесса добычи нефти, подтверждена результатами исследований имитационных моделей и натуральных, в том числе промышленных, объектов.



Предложена комплексная модель ШСНУ с использованием наблюдателей переменных состояния, включающая в себя модель предложенной системы бездатчикового управления ШСНУ, а также алгоритмы работы векторного широтно-импульсного модулятора, модели автономного инвертора напряжения, асинхронного двигателя, динамических нагрузок в элементах СК и усилия в точке подвеса колонны штанг. С помощью предложенной модели определяется интегральное усилие на полированном штоке вследствие распространения упругой волны в колонне штанг, проводится количественный анализ затрачиваемой за цикл качания установки энергии.

Подробно изложен синтез оптимальных законов движения точки подвеса колонны штанг, а также методы и алгоритмы управления ШСНУ, обеспечивающие энергоэффективное управление. Автором проведены экспериментальные и опытно-промышленные исследования, подтверждающие корректность предложенных методов и алгоритмов и позволяющие количественно оценить энергоэффективность их использования.

Автореферат в полной мере отражает основное содержание работы. Основные положения диссертационного исследования изложены в 11 научных работах в ведущих рецензируемых научных изданиях, в том числе 6 в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и SCOPUS, получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

#### **Научная новизна исследования и полученных результатов**

Научную новизну диссертационной работы составляют:

– концептуальная структура технологического объекта управления, обеспечивающая функционирование системы автоматического регулирования динамического уровня жидкости в скважине в бездатчиковом режиме с применением наблюдателей состояния электропривода ШСНУ;

– методы управления ШСНУ с использованием адаптивных алгоритмов в структуре системы автоматического регулирования динамического уровня жидкости в скважине, а также в системе косвенной оценки усилия в точке подвеса колонны штанг, обеспечивающие повышение показателей энергоэффективности технологического процесса добычи нефти.

#### **Достоверность и обоснованность положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе**

Достоверность и обоснованность выдвинутых автором положений и полученных выводов подтверждаются результатами экспериментальных исследований на установке, включающей в себя систему задания момента на валу приводного двигателя ШСНУ, имитирующую нагрузку, а также на промышленном объекте. Разработанные Солодким Е.М. методы и алгоритмы управления ШСНУ и соответствующая управляющая программа контроллера энергоэффективной системы управления ШСНУ апробированы и внедрены на скважине № 250 ЦДНГ «Ильинский» Пермского края. Указанный в акте эффект от внедрения подтверждает достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы.



## Замечания по работе

Вместе с тем к работе имеется ряд замечаний:

1. В диссертации в качестве одного из показателей эффективности эксплуатации скважин принимается удельное энергопотребление ШСНУ, выраженное как отношение затрат энергии к единице объема или массы поднимаемой продукции. При этом не учитываются глубина подвески насоса, а также разница устьевого и затрубного давлений, которые очень сильно влияют на затраты электроэнергии.

2. В работе не приведено обоснование использования дополнительных механизмов адаптации угловой скорости асинхронного двигателя (алгоритм на рисунке 4.10), которые уже заложены в алгоритм наблюдателя фильтра Калмана.

3. В диссертации предлагается метод оптимального уравнивания балансирующего СК по результатам анализа момента на выходном валу редуктора, но не уточняется, при какой частоте качаний должен быть получен этот момент, хотя даже минимальное изменение частоты качаний балансира вызывает изменение нагрузки в точке подвеса штанг, на уравниваемость привода и, следовательно, на профиль анализируемого момента.

4. Энергоэффективность процесса нефтедобычи определяется не только применяемыми ШСНУ и их режимами работы, но и другим оборудованием: насосами нагнетательных скважин для поддержания пластового давления, насосами для транспорта нефтяной жидкости и др. В связи с этим целесообразно рассматривать энергоэффективность не отдельных нефтедобывающих скважин, а добычи нефти на предприятии в целом.

5. Имеется ряд неисправностей и ненормальных режимов ШСНУ, при которых увеличиваются нагрузки на электродвигатель: заедания и искривления плунжера, разбаланс противовесов и другие. В работе не рассматривается влияние таких ненормальных режимов на работу разработанной САУ по предложенным алгоритмам.

6. В структуре бездатчиковой САУ ШСНУ (рисунок 1 в автореферате и рисунок 1.8 в диссертации) трансформаторы тока показаны только в фазах В и С электродвигателя, но сигналы с них обозначены как токи фаз А и В –  $i_a$  и  $i_b$ .

7. На рисунке 3.1 в диссертации приведен график углового ускорения гармонического движения точки подвеса штанг. При этом непонятен масштаб по оси углового ускорения, так как два уровня обозначены как нулевые, а других чисел нет. По оси времени указаны единицы измерения, но нет ни одного численного значения.

Отмеченные замечания не являются существенными и не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

## Заключение

Диссертационная работа Солодкого Евгения Михайловича «Управление штанговой скважинной насосной установкой для добычи нефти с наблюдателями переменных состояния технологического процесса» представляет самостоятельное научное исследование, выполненное на актуальную тему. Работа обладает научной новизной, имеет теоретическую и практическую значимость.

Автореферат отражает основное содержание работы.

В целом диссертационная работа по научной новизне и практической значимости полностью отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Солодкий Евгений Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности).

Официальный оппонент, д-р техн. наук,  
доцент, доцент кафедры «Электротехника  
и электрооборудование предприятий»  
Уфимского государственного нефтяного  
технического университета. Докторская  
диссертация защищена по специальности  
05.09.03 – Электротехнические комплексы  
и системы

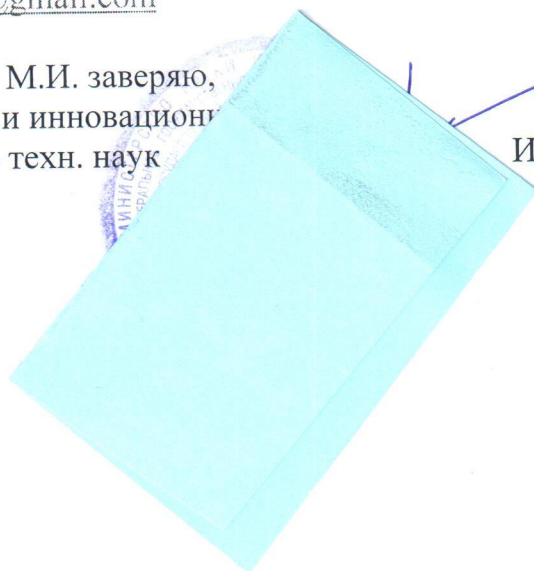


31.01.2020.

Хакимьянов Марат Ильгизович

Адрес: 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов,  
д. 1, тел.: (347) 2420759;  
e-mail: [hakimyanovmi@gmail.com](mailto:hakimyanovmi@gmail.com)

Подпись Хакимьянова М.И. заверяю,  
проректор по научной и инновационной  
работе, профессор, д-р техн. наук



Исмаков Рустэм Адипович