

Зюзев А. М., Ипполитов В. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ШТАНГОВЫХ ГЛУБИННО-НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Зюзев Анатолий Михайлович

a.m.zuzev@urfu.ru

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, Екатеринбург

Ипполитов Владимир Владимирович

vladimir.ippolitov@rsvpu.ru

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Россия, Екатеринбург

A STUDY OF THE ENERGY PERFORMANCE OF VARIABLE FREQUENCY DRIVES SUCKER ROD DEEP PUMP INSTALLATIONS

Zusev Anatoly Mikhailovich

Russian State Ural Federal University named after the first President of Russia

B.N.Yeltsin, Russia, Yekaterinburg

Ippolitov Vladimir Vladimirovich

Russian State Vocational Pedagogical University, Russia, Yekaterinburg

***Аннотация.** Обсуждены результаты исследований потерь мощности и удельных затрат энергии в асинхронном частотно-регулируемом электроприводе станков-качалок, полученные на основе полной математической модели, электромашинного комплекса.*

***Abstract.** The results of studies of power losses and specific energy costs in asynchronous frequency-controlled electric drive of rocking machines, obtained on*

the basis of a complete mathematical model, electric machine complex, are discussed.

Ключевые слова: Энергетические показатели, частотно-регулируемый электропривод, асинхронный двигатель, потери мощности в двигателе, оптимизация энергопотребления.

Keywords: *Energy performance, variable frequency drive, induction motor, power losses in the motor, energy optimization.*

Среди основных агрегатов, применяемых в нефтедобыче, значительную долю составляют штанговые глубинно-насосные установки (ШГНУ). Скважина, оборудованная ШГНУ, представляет собой сложную динамическую систему, состоящую из электропривода, станка-качалки, штангового насоса и нефтеносного пласта. При решении задачи выбора мощности электропривода и оптимизации энергопотребления необходимо использование наиболее полной математической модели системы, объединяющей в своем составе модели двигателя, станка-качалки и насоса. Очевидно, характеристики пласта в этой системе могут быть заданы таким его параметром, как уровень жидкости в скважине.

В результате вариации параметров установки и скважины возникает бесконечное разнообразие условий формирования нагрузки, исследовать которые с целью выбора и оптимизации необходимой мощности двигателя и преобразовательного устройства можно только методами математического моделирования, разработав соответствующее программное обеспечение. Для решения этих задач создана программа «ЭСКАДа», содержащая матмодели механических звеньев ШГНУ, скважины и асинхронного электропривода [1].

Ниже приводятся результаты исследования энергетических показателей асинхронных частотно-регулируемых электроприводов ШГНУ, полученные с использованием указанной программы. Все расчеты выполнены для электропривода мощностью 30 кВт и скважины с глубиной спуска насоса 1142 м (диаметр плунжера 57 мм), оборудованной станком-качалкой двуплече-

вого типа ПШГН8-3, настроенной на длительность цикла качания 10 секунд при номинальной скорости электродвигателя. В качестве основных показателей при оценке эффективности работы электропривода выбраны средние потери в двигателе и удельные затраты энергии на единицу объема поднимаемой жидкости.

При определении мощности потерь в двигателе учитываются только электрические потери в статоре и роторе. Определив переменные состояния двигателя из решения полной системы уравнений электропривода машинного агрегата, далее находят мгновенные значения потерь мощности в статоре ΔP_s и роторе ΔP_r , соответствующие текущему моменту времени. На основе этих значений путем их интегрирования получают энергию потерь на цикле качания $T_{ц}$, то есть на интервале времени одного полного оборота кривошипа или на двойном ходе штока:

$$\Delta W_{\Sigma} = \int_{t=0}^{T_{ц}} (\Delta P_s + \Delta P_r) dt, \quad (1)$$

а после этого находят и среднюю мощность потерь на цикле:

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Delta W_{\Sigma}}{T_{ц}}. \quad (2)$$

На основе представленной методики проведено исследование зависимости средних потерь в двигателе ΔP_{cp} от параметров кинематики механизма при различных заданиях на преобразователь частоты с целью установления основных закономерностей. При этом рассматривался простейший способ управления с постоянством отношения амплитуды напряжения статора к его частоте. Было выявлено, что динамические процессы в механической части ШГНУ оказывают существенное влияние на характер момента двигателя и величину средней мощности потерь, которые имеют экстремальный характер в зависимости от радиуса противовеса с явно выраженным минимумом (рисунок 1), что, очевидно, в использовании при оптимальных настройках механизма его наладке и контроле состояния балансировки в процессе работы. Наилучшее использование двигателя будет при минимуме средних потерь в

нем, что возможно при выполнении оптимального условия уравнивания установки.

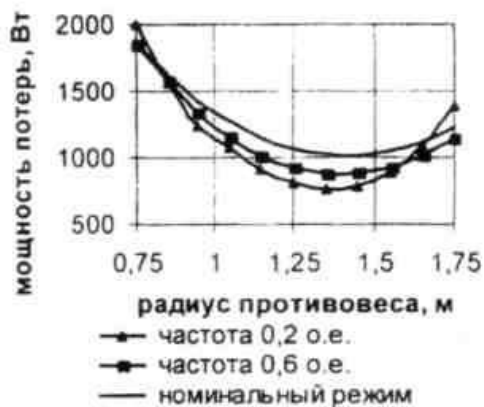


Рис. 1

Данным оптимальным условиям соответствует минимальная амплитуда колебаний момента двигателя. Диаграммы момента двигателя при номинальной частоте (а) и задании на частоту 0,5 о.е. (б) представлены на рисунке 2. Со снижением задания на частоту мощность потерь в двигателе соответственно уменьшается, что можно объяснить снижением влияния динамических процессов в механической части на работу привода [2].

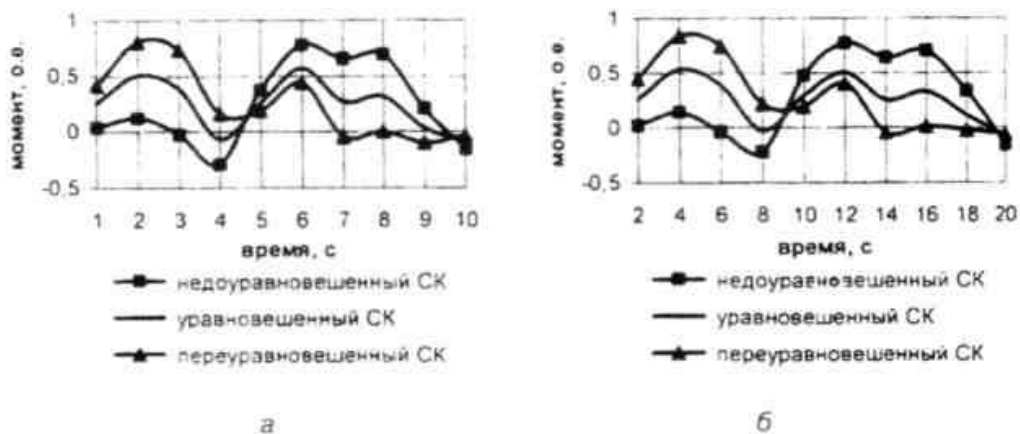


Рис. 2

Проведено также исследование зависимости средних потерь мощности в двигателе от динамического уровня жидкости в скважине h_d , который может изменяться в определенных пределах при эксплуатации скважины. Полученные зависимости средней мощности потерь в двигателе от задания на частоту

(рисунок 3) при уменьшении динамического уровня смещаются вниз практически параллельно. Это объясняется тем, что при изменении динамического уровня пропорционально изменяется и совершаемая станком-качалкой работа по подъему жидкости, следовательно, также изменяются потребляемая мощность и потери в двигателе.

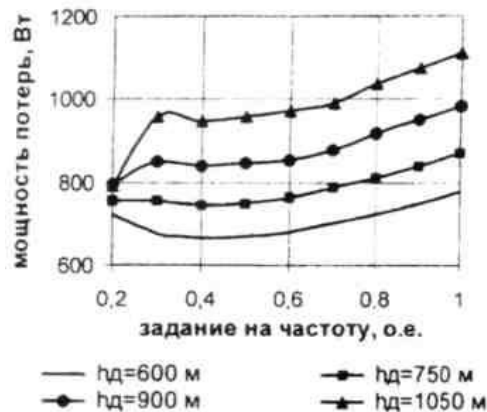


Рис. 3

Следует обратить внимание на то, что если скважина будет работать с существенно изменяющимся динамическим уровнем без перенастройки станка-качалки (как это и случается на практике), то условия балансировки механизма будут нарушаться, и значения средних потерь в двигателе могут существенно отличаться от оптимальных. Поэтому целесообразным является режим работы агрегата с поддержанием определенного динамического уровня жидкости.

Полная модель электропривода ШГНУ позволяет также выполнить и расчет потребляемой активной мощности системы:

$$P = k \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \, dt, \quad (3)$$

где P - потребляемая активная мощность; $k = 2$ - коэффициент приведения относительного значения мощности на три фазы; $T = 2\pi$ - период напряжения статора; u, i - мгновенные значения фазного напряжения и тока статора.

Потребляемую из сети активную энергию W можно найти по общему выражению:

$$W = \int_{t=0}^{T_{ц}} P dt. \quad (4)$$

Применительно к электроприводу ШГНУ энергопотребление целесообразно оценивать по удельным затратам энергии на единицу объема поднимаемой на двойном ходе штока жидкости Q , который рассчитывается, исходя из конструктивных параметров насоса и расчетного значения хода плунжера, получаемого из совместного решения уравнений движения колонны штанг и НКТ в полной модели комплекса:

$$W_{уд} = \frac{W}{Q}. \quad (5)$$

Как видно из графиков зависимостей (рисунок 4) удельных затрат энергии

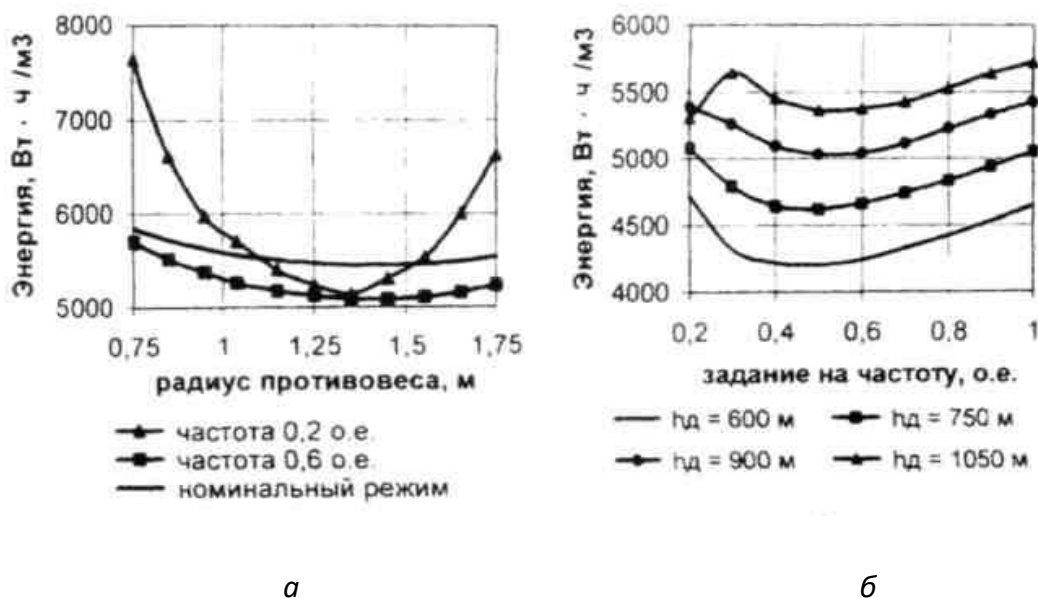


Рис. 4

от положения противовеса (а) и от задания на частоту ПЧ (б), удельные затраты электроэнергии, так же как и средние потери, имеют экстремальный характер в зависимости от условий уравнивания станка-качалки и задания на преобразователь частоты.

Выводы

1. На уровень потерь мощности и удельные затраты энергии на подъем жидкости из скважины в асинхронном электроприводе штанговой глубинно-

насосной установки оказывает существенное влияние качество уравнивания станка-качалки.

2. Существует оптимальное положение противовеса станка-качалки, при котором привод имеет минимальные потери в двигателе и потребляет минимальное количество электроэнергии.

3. Для оптимизации энергопотребления и минимизации потерь мощности в электроприводе штанговой глубинно-насосной установки целесообразно стабилизировать динамический уровень жидкости в скважине, что можно осуществить путем изменения производительности агрегата за счет регулирования скорости двигателя.

Список литературы

1. Зюзев А. М. Программный моделирующий комплекс «Электропривод станка-качалки с асинхронным двигателем» («ЭСКАДа») / А. М. Зюзев, В. П. Метельков, А. С. Попов; Свил РФ о регистр прогр. для ЭВМ №2003612481. Москва: Роспатент, 12.11.2003.

2. Зюзев А. М. Развитие теории и обобщение опыта разработки автоматизированных электроприводов агрегатов нефтегазового комплекса : диссертация доктора технических наук : 05.09.03.- Екатеринбург, 2004.- 347 с.: ил. РГБ ОД, 71 05-5/456