

**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 двухплече-

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  $\Delta P_s$  и роторе  $\Delta P_r$ , 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:

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

На основе представленной методики проведено исследование зависимости средних потерь в двигателе  $\Delta P_{ср}$  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.

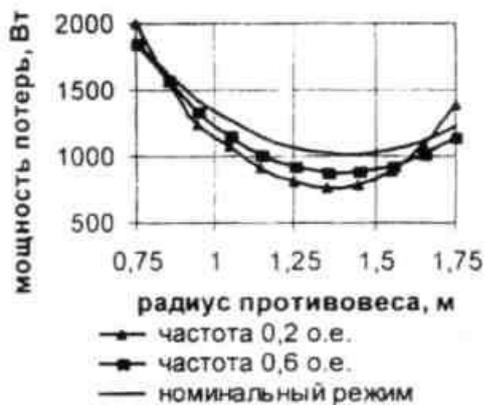


Рис. 1

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].

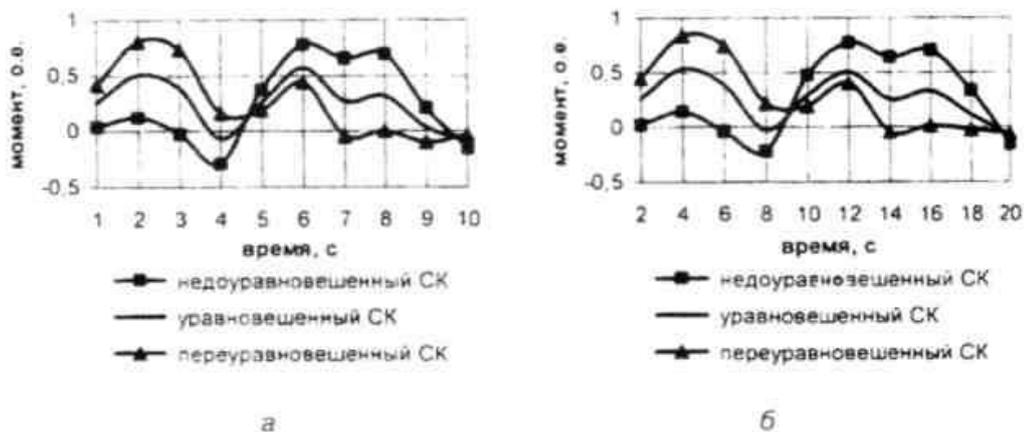


Рис. 2

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.

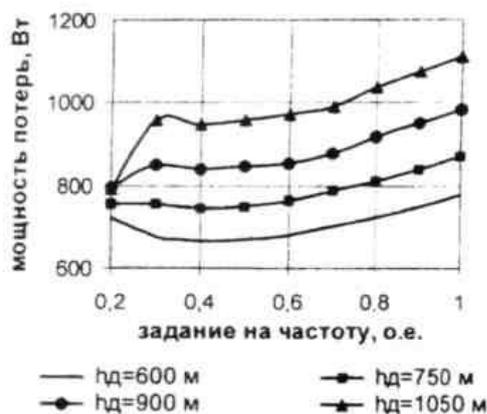


Рис. 3

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

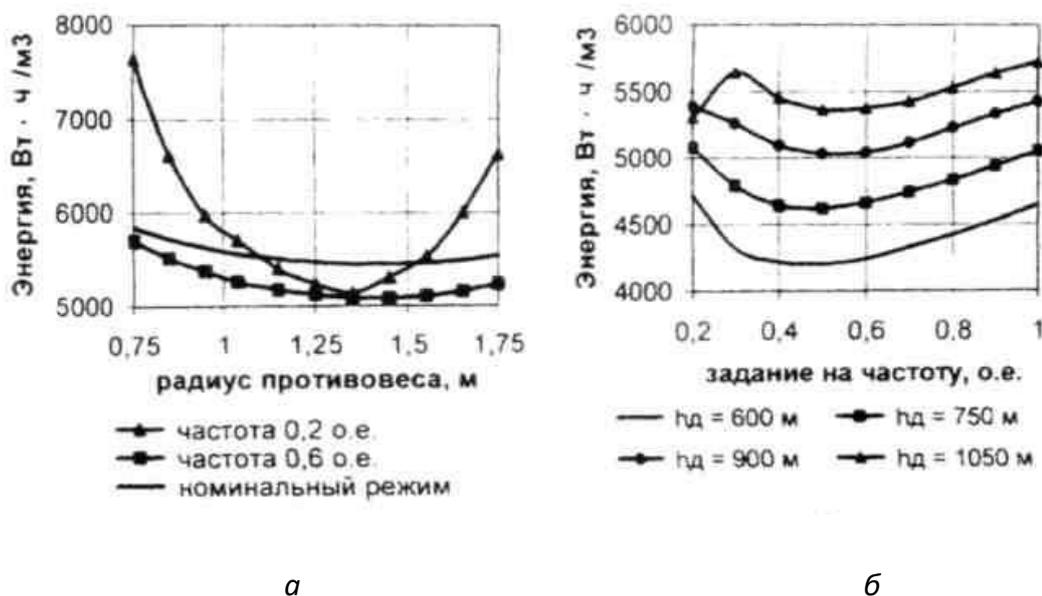


Рис. 4

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