

УДК 622.673.1: 681.514.54

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДА ВАТТМЕТРИРОВАНИЯ СТАНКА-КАЧАЛКИ СКВАЖИННОЙ ШТАНГОВОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

В.В. Лопатин, И. Н. Ангеловский

*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины
ул. Симферопольская 2а, г. Днепр, 49005. тел. (0562) 46-01-51, факс (0562) 46-24-26
e-mail nanu@igtm.dp.ua*

*В роботі проаналізовані недоліки ваттметривання за типовими методиками контролю із застосуванням струмових кліщів різних авторів. Запропоновано вирішення проблеми методу ваттметривання верстата-качалки (ВК) свердловинної штангової насосної установки (СШНУ) в процесі її експлуатації і правильного балансування. Мета роботи - визначення впливу неуврівноваженості ВК на споживання електроенергії шляхом вимірювання споживаної активної і реактивної її складових за допомогою мікропроцесорного лічильника електроенергії. За запропонованим авторами ваттметричним методом контролю можна заощадити тільки на одній СШНУ до півмільйона гривень за один рік її експлуатації.
Ключові слова: верстат-качалка СШНУ, балансування, струмові кліщі, асинхронний електродвигун, мікропроцесорний лічильник електроенергії.*

*In the paper, the drawbacks of wattmetering based on typical control methods using current mites of various authors are analyzed. The solution of the problem of the wattmetering method of the rocking machine (RM) of the borehole rod pump unit (BRPU) during its operation and correct balancing is proposed. The purpose of the work is to determine the effect of unbalance RM on electricity consumption by measuring the consumed active and reactive components of it using a microprocessor-based electricity meter. According to the wattmeter method of control proposed by the authors, it is possible to save only one BRPU up to half a million hryvnia in one year of its operation.
Key words: rocking machine BRPU, balancing, current clamp, asynchronous electric motor, microprocessor energy meter.*

*В работе проанализированы недостатки ваттметрирования по типовым методикам контроля с применением токовых клещей различных авторов. Предложено решение проблемы метода ваттметрирования станка-качалки (СК) скважинной штанговой насосной установки (СШНУ) в процессе её эксплуатации и правильной балансировки. Цель работы - определение влияния неуравновешенности СК на потребление электроэнергии путем измерения потребляемой активной и реактивной её составляющих с помощью микропроцессорного счетчика электроэнергии. По предложенному авторами ваттметрическому методу контроля можно сэкономить только на одной СШНУ до полумиллиона гривен за один год ее эксплуатации.
Ключевые слова: станок-качалка СШНУ, балансировка, токовые клещи, асинхронный электродвигатель, микропроцессорный счетчик электроэнергии.*

Вступлення. Станок-качалка служить приводом нефтяного штангового насоса, расположенного на дне нефтяной скважины, и является надземной частью СШНУ (рис.1). Нефтяной штанговый насос представляет собой объемный насос возвратно-поступательного действия с длинным цилиндром, шариковыми всасывающим и нагнетательным клапанами и

длинным пустотелым проходным плунжером. Нефтяной штанговый насос преобразует возвратно-поступательные движения от станка-качалки СШНУ в поток жидкости, которая по насосно-компрессорным трубам поступает из скважины на поверхность. Станок-качалка является наземной частью СШНУ.

Важным компонентом станка-качалки СШНУ является противовес, расположенный на плече кривошипа. Станки-качалки делятся на установки с коромысловой, кривошипной и пневматической балансировкой. Физическая суть и предназначение балансировки СШНУ становятся понятными, если рассмотреть движение колонны насосных штанг и станка-качалки на примере идеализированной работы СШНУ



Рисунок 1 - Станок-качалка СШНУ с коромысловой балансировкой.

В этом упрощенном случае нагрузка на устьевой сальниковый шток при движении вверх состоит из веса штанг плюс вес скважинных флюидов. При обратном ходе участвует только вес штанг. При отсутствии балансировки нагрузка на редуктор и двигатель привода СШНУ во время движения штанг вверх направлены в одну сторону. При движении штанг вниз нагрузка направлена уже в противоположную сторону. Такая знакопеременная нагрузка создает ускоренный износ-срабатывание шестерёночного редуктора и двигателя привода СШНУ и вызывает существенный перерасход топлива (электроэнергии). Рациональный подбор противовеса и его оптимальная балансировка создает наименьшие возможные нагрузки на редуктор и двигатель СШНУ, уменьшает поломки и простои, снижает требования к топливу (электроэнергии). С точки зрения авторов для нефтяных промыслов рациональный противовес грубо равен весу колонны насосных штанг плюс примерно половина веса поднимаемой жидкости, хотя известны и используются другие обоснованные рациональные расчеты подбора противовеса СШНУ.

Для контроля наземной части СШНУ – станка-качалки на нефтепромыслах Украины в основном применяется ваттметрический метод контроля, основанный на контроле станка-качалки по параметрам силового двигателя привода СШНУ. Хотя имеются и другие методы: барографирования, ваттметрирования, виброконтроля и динамометрирования.

Ваттметрические методы контроля СШНУ широко распространены и за рубежом. Его использовали: Г.С. Абрамов, Н.Т. Агагусейнов, А.В. Антонов, А. В. Барычев, Е. И. Гольдштейн, И.Н. Исаченко, Л.Ф. Куликовский, Г.П. Налимов, М.Х. Нургалиев Б.З. Султанов, В. В. Чураков, Л.М. Рисикин и другие, которыми были разработаны ваттметрические датчики и системы контроля [1-6].

Ваттметрический метод контроля СШНУ существенно дешевле и требует меньше трудовых затрат по сравнению с динамографическим методом контроля станка-качалки СШНУ с использованием массивных и габаритных переносных гидравлических динамографов.

Решение проблемы. С целью проверки эффективности метода авторами были проведены промышленные исследования ваттметрирования СШНУ и приборов, осуществляющих этот контроль.

Анализ современных зарубежных и отечественных исследований и публикаций. На промыслах существуют типовые методики контроля ваттметрирования с применением токовых клещей различных авторов. Авторы выполняли ваттметрирование по типовой методике [7] с использованием токоизмерительных клещей типа UNI-T UT202 (рис.2).



Рисунок 2 - Тестер токовые токоизмерительные клещи типа UNI-T UT202.

Тестер токовые токоизмерительные клещи UNI-T UT202

Цифровые токоизмерительные клещи UNI-T UT202 – надежный прибор для измерения напряжения и переменного тока. Особенности токоизмерительных клещей UNI-T UT202:

- автоматический выбор диапазона;
- сохранение данных;
- вывод значения на весь экран;
- спящий режим;
- индикатор низкого заряда батареи;
- удержание максимального значения;
- диаметр клещей максимум 28 мм;
- обновление данных на дисплее 3 раза в секунду;
- компактность и удобный дизайн;
- соответствие стандартам электро-безопасности IEC61010, CAT II 600 В/ CAT III 300 В;

Технические характеристики UNI-T UT202:

- постоянное напряжение 200mV/2V/20V/200V/600V (0,8% +1);
- переменное напряжение 2V/20V/200V/600V (1,2% +5);
- переменный ток 2A/20A/200A/400A (1,5% +5);
- сопротивление 200Om/2kOm/20kOm/200kOm/2mOm/20mOm (1% +2);
- температура (°C) -40 ~ 1000°C (1% +3);
- температура (°F) -40°F ~ 1832°F (1% +6);
- автоматический выбор диапазона измерений;
- проверка диодов;
- звуковой сигнал;
- удержание данных;
- высококонтрастный ЖК дисплей;
- режим пониженного энергопотребления;
- индикатор разряда батарей;
- входное сопротивление для измерения напряжения постоянного тока около 10 МВт;
- максимальное отображение на дисплее 1999;
- питание батарея 3В (AAA x 2);
- размер ЖК экрана 35,6 x 18 мм.;
- вес нетто 220г.;
- размер изделия 210 x 75,6 x 30 мм.;

Авторами было тщательно выполнено ваттметрирование по данной типовой методике [7] с использованием токовых клещей типа UNI-T UT202 и получено, что в более чем 70% нагрузка на электродвигателе имела практически постоянную величину. Указанный

результат должен был свидетельствовать о хорошем балансе станка-качалки СШНУ. Однако, неуравновешенность на некоторых контролируемых станках-качалках СШНУ можно было наблюдать даже визуально. Одиночно наблюдался так называемый «полет» грузов при отключении электродвигателя привода СШНУ.

Данный факт заставил углубиться в представленную проблему.

Проведенные авторами исследования и поиск проблемы неуравновешенности станков-качалок СШНУ по опубликованным источникам показали, что:

Азербайджанские коллеги уже сталкивались с данной проблемой на некоторых промыслах и по их исследованиям более 60 % станков-качалок СШНУ реально разбалансировано.

По исследованиям Уфимского государственного нефтяного технического университета [8] приведены убедительные данные о неэффективности уравнивания при помощи токовых клещей, их данные сходятся с результатами полученными авторами.

По оценкам эксплуатационно-ремонтных нефтепромысловых организаций Украины только до 28 % всех СШНУ, находящихся в эксплуатации, не сбалансированы должным образом. В многочисленных и разобъясненных источниках не приведено, каким образом получены эти данные, и какие методы при этом использовались.

В отчете об исследованиях на 121-ом станке-качалке СШНУ «Бавлынефть» ОАО «Татнефть» в 81,8 % нагрузка имела постоянную величину [9].

Все контролируемые авторами станки-качалки СШНУ, показавшие аномальные результаты контроля, были оснащены асинхронными электродвигателями мощностью от 7,5 до 30 кВт типа АОП (ЧАР).

Напомним, что наш земляк Михаил Осипович Доливо-Добровольский в 1889 году впервые получил патент на трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа «беличье колесо» (германский патент № 51083 от 8 марта 1889 года под названием «Anker für Wechselstrommotoren»). Слово “асинхронный” означает не

одновременный, т.е. у асинхронных двигателей частота вращения магнитного поля статора всегда больше частоты вращения ротора. Принцип работы асинхронного двигателя заключается во взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и токов, которые наводятся этим магнитным полем в роторе. Причём вращающий момент может возникнуть только в том случае, если существует разность частот вращения магнитных полей.

В реальном асинхронном электродвигателе станка-качалки СШНУ частота вращения ротора при холостом ходе никогда не может стать равной частоте вращения магнитного поля статора, так как в этом случае магнитное поле перестанет пересекать проводники обмотки ротора и не может создать вращающего момента, ротор под влиянием противодействующего момента сил трения начнет замедляться. Замедление будет происходить пока вращающий момент, возникший при уменьшенной частоте вращения, не станет равным моменту, создаваемому силами трения. Известно, что для уменьшения тока при холостом ходе в асинхронных двигателях стремятся выполнить минимально возможные по соображениям конструкции и технологии зазоры. В асинхронных электродвигателях мощностью от 7,5 до 30 кВт зазор между статором и ротором составляет более 0,7 мм (поэтому двигатель привода СШНУ работает со скольжением более 1%). Из-за наличия воздушного зазора между ротором и статором асинхронного электродвигателя привода СШНУ ток холостого хода по ТУ составляет до 40 % номинального тока. Напомним, что намагничивающий ток (реактивная составляющая тока холостого хода) обеспечивает создание в асинхронном двигателе требуемого магнитного потока, а энергия необходимая для компенсации потерь мощности получается из активной составляющей тока холостого хода.

Согласно действующего ГОСТ 7217-66 рекомендуется для асинхронного электродвигателя при испытаниях тока и потери короткого замыкания определять только при одном напряжении с последующим пропорциональным пересчетом тока короткого замыкания на номинальное напряжение двигателя. В этом случае потери пересчитывают

пропорционально квадрату тока. По данным замеров строится характеристика короткого замыкания. Испытания холостого хода, измерение подводимой мощности рекомендуется производить по схеме двух ваттметров.

Как следует из вышеизложенного, аномальные результаты, полученные с использованием токовых клещей (UNI-T UT202), объясняются тем, что у асинхронных двигателей типа АОП (ЧАР) ток холостого хода превышает 50 % от номинального значения и является практически полностью реактивным.

В Украине существует и действует «Методика вычисления платы за перетекание реактивной электроэнергии между энергоснабжающей организацией и ее потребителями» Министерства топлива и энергетики Украины от 17 января 2002 года № 19. А так как основной целью существующих систем электроснабжения является полезная доставка электроэнергии от производителя непосредственно к потребителю (а не перекачивание её туда и обратно) - реактивная составляющая мощности справедливо считается вредной характеристикой электрической цепи. Потери на реактивную составляющую в электрической сети напрямую связаны с величиной коэффициентом мощности ($\cos\phi$) потребителя. Чем будет больше коэффициент мощности потребителя, тем меньше будут потери мощности в электрической линии и дешевле обойдётся передача электроэнергии потребителю. Известно, что именно коэффициент мощности потребителя указывает насколько эффективно используется рабочая мощность электроэнергии сети. Так как по подводящим электрическим сетям передаётся мощность полная, то сетевой компании приходится учитывать коэффициент мощности потребителя. Украинские электрические компании добавляют в счета или штрафуют потребителя за потери на электрических линиях, возникающие в следствии индуктивных нагрузок, которые приводят к сдвигу ($\cos\phi$). Вместе с ухудшением экономичности системы электроснабжения понижение $\cos\phi$ приводит к увеличению потерь и колебаниям электрического напряжения в сети.

Для стимуляции повышения коэффициента мощности предприятиям нефтяных промыслов,

плату за электрическую энергию, как правило, исчисляют по двухставочному тарифу и ставят в непосредственную связь от величины коэффициента мощности. В последнее время электроснабжающие организации Украины не просто требуют увеличения коэффициента мощности, а поддержания заданного оптимального значения коэффициента реактивной мощности.

Однако, на нефтяных промыслах реактивная мощность потребляется в основном асинхронными двигателями станков-качалок, у которых чрезвычайно низок коэффициент мощности (0,5—0,6) [10]. Особенно низок коэффициент мощности у электрических двигателей приводов СК, работающих со значительной недогрузкой, а также при пульсирующем характере нагрузки или переменном графике нагрузок станков-качалок.

Таким образом, возник вопрос контроля потребляемой асинхронным электродвигателем станка-качалки СШНУ электрической энергии её разделением активной и реактивной её составляющих. Для этого контроля авторы использовали микропроцессорный счетчик электроэнергии типа АЛЬФА А1000 фирмы "Эльстер Метроника" (Рис. 3).



Рисунок 3 – Микропроцессорный счетчик электроэнергии типа АЛЬФА А1000 фирмы "Эльстер Метроника".

Микропроцессорный счетчик электроэнергии типа АЛЬФА А1000 предназначен для учета активной, реактивной энергии и максимальной мощности в одном или

в двух направлениях в трехфазных цепях переменного тока (Таблица 1).

Исследование авторы проводили с целью определения влияния неуравновешенности СК на потребление электроэнергии, путем измерения потребляемой активной и реактивной её составляющей.

Таблица 1 - Технические характеристики счетчика АЛЬФА-А1000

№	Наименование величины	Значение
1	Класс точности (в зависимости от модификации)	1,0 и 2,0
2	Номинальное напряжение, В	3x230/400
3	Рабочий диапазон, % от номинального значения	-55 +25
4	Частота сети, Гц	50 +- 5%
5	Номинальный ток (максимальный ток), А для счетчиков прямого включения	5 (100)
6	Номинальный ток (максимальный ток), А для счетчиков трансформаторного включения	5 (6,25)
7	Чувствительность, мА класс 1,0	<20
8	Чувствительность, мА класс 2,0	<25
9	Скорости обмена по цифровому терфейсу	4800 бод
10	Срок службы, не менее	30 лет
11	Межповерочный интервал	10 лет

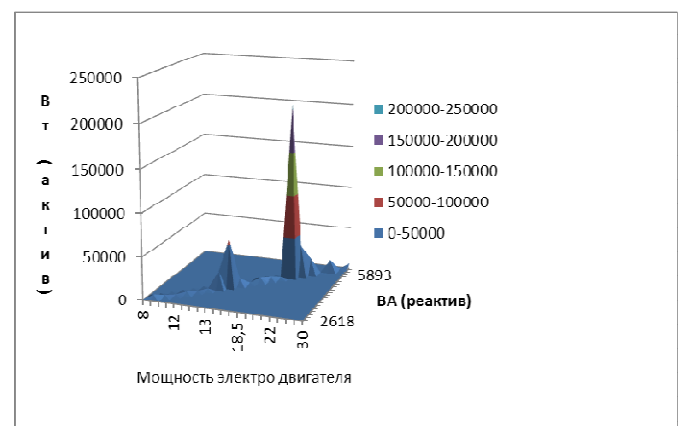


Рисунок 4 – Эмпирическая зависимость снижения расхода потребляемой активной и реактивной составляющей потребляемой электроэнергии от мощности

электродвигателя станка-качалки после
балансировки.

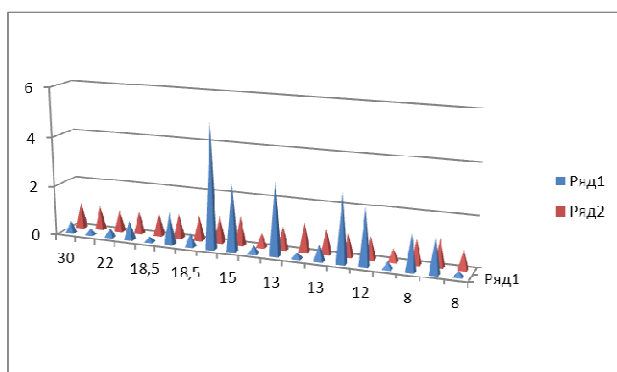


Рисунок 5 – Эмпирическая зависимость коэффициента неуравновешенности станка-качалки от мощности электродвигателя до балансировки (первый ряд) и после (второй ряд).

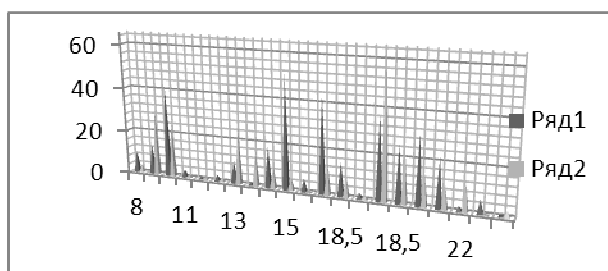


Рисунок 6 – Эмпирическая зависимость % снижения потребления активной мощности (первый ряд) и реактивной (второй ряд) мощности после балансировки от мощности электродвигателя.

Как видно из рис. 5, коэффициент неуравновешенности СК не имеет корреляционной зависимости от мощности электродвигателя привода станка-качалки. Известен ваттметрический метод контроля определения уравновешенности ($K_{неур}$) станка-качалки (СК) с помощью токовых клещей [7], согласно которому определяют максимальные значения тока при ходе плунжера СШНУ вверх I_v и вниз I_n и по выражению (1) находят коэффициент неуравновешенности станка-качалки:

$$K_{неур} = \frac{I_v - I_n}{I_v + I_n} \times 100\% , \quad (1)$$

где I_v – значение тока при ходе плунжера СШНУ вверх, I_n – значение тока при ходе плунжера СШНУ вниз.

Станок-качалка СШНУ считается уравновешенным, если коэффициент разбалансировки не превышает 5 % [7]. Авторы считают, что недостатком этого ваттметрического метода контроля является значительная инерционность токовых клещей, которая обуславливает погрешность определения параметров уравновешивания и некорректность определения неуравновешенности СК на основании вышеприведенных исследований авторов.

За счет предложенного метода балансировки (корректного определения неуравновешенности по разработанному ваттметрическому методу контроля) СК авторам удалось получить на некоторых СК снижение потребления активной мощности до 50 %, а реактивной более 60 %.

Ввиду того, что промышленные исследования авторами производилась на произвольно выбранных скважинах, то существуют достаточные основания полагать о схожей картине по всему фонду скважин на всех промыслах в Украине, оборудованных СШНУ вопреки оценкам эксплуатационно-ремонтных нефтепромышленных организаций.

Согласно постановления НКРЭКУ от 27.09.2016 № 1649 розничные тарифы на электроэнергию для потребителей с октября 2016 всем потребителям, кроме населения, населенных пунктов, городского электрического транспорта и коммунально-бытовых нужд религиозных организаций представлены (Таблица 2).

Таблица 2 - Розничные тарифы на электро-энергию для потребителей с октября 2016 года

Предприятия	Тариф	НДС	вместе с НДС
Потребители I класс напряжения 27,5 кВ и выше коп./кВт*ч	157,28	31,46	188,74
Потребители II класс напряжения до 27,5 кВ коп./кВт*ч	196,99	39,40	236,39

Таким образом, за счет балансировки СШНУ по предложенному авторами

ваттметричному методу контролю можна сэкономить только на одной СШНУ до полумиллиона гривен за один год ее эксплуатации

$$206279 \times 2,3639 = 487622,92 \text{ гривен.}$$

Выводы

Ввиду того, что промышленные исследования авторами производились на произвольно выбранных скважинах, существуют достаточные основания полагать о схожей картине по всему фонду скважин на всех промыслах в Украине, оборудованных СШНУ вопреки оценкам эксплуатационно-ремонтных нефтепромышленных организаций.

Исследования показали, что:

- реально значительное число станков-качалок СШНУ Украины разбалансированы, что увеличивает электропотребление и нагрузку на электрический привод СК;

- корректная балансировка СК позволит равномерно распределить нагрузку на балансир и существенно улучшить работу СК;

- правильное (корректное) определение разбалансированности станка-качалки СШНУ даст существенную экономию электроэнергии на нефтяных промыслах, улучшит качество электрического тока, уменьшит колебания электрического напряжения и повысит в целом показатели работы электрической сети на нефтяном промысле.

1. *Методы контроля сбалансированности станка-качалки на основе измерения электрических параметров/ И. Н. Исаченко, Е. И. Гольдштейн, Г. П. Налимов// Нефтяное хозяйство. 2002. № 1. С. 60 - 61.* 2. *Ваттметрические методы контроля за работой скважин/ Г.С. Абрамов, А.В. Барычев, В. В. Чураков// Нефтегаз. 2003. № 3. С. 87 - 89.* 3. *Эксплуатация нефтяных и газовых скважин/*

А.И. Акульшин, В.С. Бойко В.С. [и др.]. – М.: Недра, 1989.- 480с. 4. Замиховський, Л.М. Діагностика технічного стану глибинно-насосних установок / Л.М. Замиховський, В.А. Ровінський, О.В. Євчук// - Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2006. – 308с. 5. Абдулаев Н.Т. Ваттметрический метод диагностирования штанговых нефтяных установок / Н.Т. Абдулаев, Н.Т. Агазусейнов, А.В. Антонов// Нефть и газ. -1991. -№ 5. – С.21-24. 6. Карпаш, О.М. Неруйніврий контроль та технічна діагностика нафтогазового обладнання та інструменту/ О.М. Карпаш// Неруйніврий контроль та технічна діагностика: Матеріали 2-ї укр. наук.-техн. конф. - Дніпропетровськ, 1997.- С.36. 7. Руководство по эксплуатации скважин штанговыми насосами. Альметьевск: АО "Татнефть", 1992. - 440 с. 8. Проблемы разработки и эксплуатации нефтяных месторождений: Межвуз. сб. науч. тр. / Ред. Мухаметшин В.Ш. и др. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – 588 с. 9. Методы и средства контроля технического состояния глубиннонасосного оборудования / Т.М. Алиев, В.А. Надеин, Л.М. Рысикин, А.А. Тер-Хачатуров// Нефтяная промышленность: Обзор инф. / ВНИИОСНГ. - М., 1981. – Сер. Автоматиз. и телемех. нефт. пром. - 57с. 10. Блантер С.Г. Электрооборудование нефтяной и газовой промышленности/ С.Г. Блантер, И.И. Суд// - М.: Недра, 1980. — 478 с.

Поступила в редакцію 25.03.2017 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Середюк О.Є., докт. техн. наук, проф. Костишин В.С.