



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ШТАНГОВЫХ СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ПАРАМЕТРАМ ВАТТМЕТРОГРАММЫ

В.А. Манахов, А.Н. Цветков

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Valeriy_Manakhov@mail.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Целью данной работы является разработка метода диагностики оборудования штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ) в процессе эксплуатации по параметрам ваттметрограммы. В качестве измерительного элемента применяется модуль ваттметрирования, инструментом для обработки вибрационных сигналов служит разработанное программное обеспечение в программном комплексе MatLab. Техническое состояние ШСНУ анализируется по параметрам ваттметрограммы и амплитудным спектрам исследуемого объекта, сформированным с использованием процедуры быстрого преобразования Фурье в программной среде MatLab.

МЕТОДЫ. Метод ваттметрирования позволяет осуществлять контроль ШСНУ во время его работы под напряжением. Данный метод контроля является высокоточным, чувствительным к развивающимся дефектам, позволяет применять компьютерные технологии для обработки и анализа сигналов.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Метод ваттметрирования раскрыт в полном объеме. Рассмотрено построение спектра. Установлена взаимосвязь ваттметрограммы с динамограммы. Произведено снятие и оценка экспериментальных данных с действующей ШСНУ во время ее работы. Построена ваттметрограмма и динамограмма, так же построен спектр, который показал наличие дефектов на данной установке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Данный метод ваттметрирования с программным обеспечением MatLab позволяет контролировать техническое состояние ШСНУ по амплитудно-частотным характеристикам параметров ваттметрограммы.

Ключевые слова: ваттметрограмма, штанговая скважинная насосная установка, нефтяное оборудование, диагностика, анализ, спектр, динамограмма, станок-качалка, MatLab.

Для цитирования: Манахов В.А., Цветков А.Н. Определение состояния и функционирования оборудования штанговых скважинных насосных установок в процессе эксплуатации по параметрам ваттметрограммы // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 3. С. 127-139. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-127-139.

DETERMINATION OF THE STATE AND FUNCTIONING OF THE EQUIPMENT OF ROD WELL PUMPING UNITS IN THE OPERATION PROCESS BY THE PARAMETERS OF THE WATTMETROGRAM

VA. Manakhov AN. Tsvetkov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Valeriy_Manakhov@mail.ru

Abstract: TARGET. The purpose of this work is to develop a method for diagnostics of equipment of sucker rod pumping units (SRPU) during operation according to the parameters of the wattmetrogram. A wattmetering module is used as a measuring element, the developed software in the MatLab software package serves as a tool for processing vibration signals. The technical condition of the sucker rod pumping unit is analyzed by the parameters of the wattmetrogram and the amplitude spectra of the object under study, formed using the fast Fourier transform procedure in the MatLab software environment.

METHODS. The wattmetering method allows you to control the sucker rod-pumping unit during its operation under voltage. This control method is highly accurate, sensitive to developing defects, and allows the use of computer technologies for signal processing and analysis.

RESULTS. The wattmetering method is fully disclosed. The construction of the spectrum is considered. The relationship between the wattmetrogram and the dynamogram has been established. The removal and evaluation of experimental data from the operating sucker-rod pumping unit during its operation was carried out. A wattmetrogram and a dynamogram were built, a spectrum was also built, which showed the presence of defects in this installation.

CONCLUSION. This method of wattmetering with the MatLab software allows you to monitor the technical condition of the sucker rod pumping unit according to the amplitude-frequency characteristics of the wattmetrogram parameters.

Keywords: wattmetrogram, sucker rod pumping unit, oil equipment, diagnostics, analysis, spectrum, dynamogram, rocking machine, MatLab.

For citation: Manakhov VA, Tsvetkov AN. Determination of the state and functioning of the equipment of rod well pumping units in the operation process by the parameters of the wattmetrogram. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021;23(3):127-139. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-127-139.

Введение

Нефтяная индустрия Российской Федерации в последние годы испытывает сильный упадок в связи с возникающими кризисами из-за пандемии коронавируса COVID-19, вследствие чего стоимость нефти марки Brent упала по состоянию на 26 декабря 2019 с 67,88 до 21,83 американских долларов за баррель по состоянию на 23 апреля 2020 года. В настоящее же время цена выравнивается из-за постоянно растущего спроса на нефтепродукты (Рис 1).

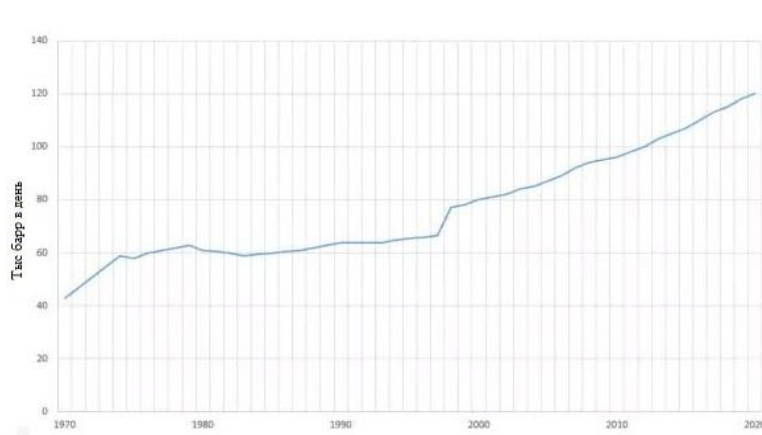


Рис. 1. Мировой спрос на нефть за 50 лет

Fig. 1. World oil demand over 50 years

Несмотря на нестабильное состояние нефти на мировом рынке, отрасль не прекращает обеспечивать как внутренние потребности государства, так и экспорт. Несмотря на сегодняшнее кризисное положение нефтяной промышленности, Российская

Федерация остается одним из крупнейших в мире производителей, потребителей и экспортеров нефти и продолжает удерживать основные позиции на мировом рынке, занимая третье место в мире по добыче нефти.

Для нефтяных компаний, осуществляющих добычу нефти с помощью штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ), актуальными задачами остаются повышение энергоэффективности и оптимизации режимов работы данной установки, вследствие чего снизятся материальные затраты на поддержание работоспособности, перехода от планово-предупредительного ремонта ШСНУ к обслуживанию по фактическому техническому состоянию.

Решение данных задач возможно посредством методов и средств приборного контроля, осуществляющих регистрацию и параметров работы установок.

Литературный обзор

Предположение о возможности применения ваттметрограмм для контроля за работой ШСНУ были впервые высказаны профессором Куликовским Лонгином Францевичем еще в 1948 г., но не были разработаны методики расшифровки ваттметрограмм. С помощью этого метода можно определить:- состояние работы насоса;

- степень неуравновешенности станка-качалки;
- наличие отрицательных усилий, ведущих к преждевременному выходу из строя редуктора;
- степень износа и состояние отдельных узлов станка-качалки;
- состояние ремней передачи;
- степень загрузки электродвигателя. [1].

Как средство диагностики ваттметрирование стало применяться раньше, чем динамометрирование. В СССР для обработки ваттметрограмм в 1975 году ученым, доктором технических наук Кричке Владимиром Оскаровичем были разработаны электронные аналоговые приборы. Однако широкому распространению этого метода диагностики помешала невысокая вычисляемая мощность контроллеров. Ваттметрирование является одним из лидеров по информативности методом контроля и диагностики оборудования ШСНУ.

В настоящее время данным вопросом активно занимается доктор технических наук Хакимьянов Марат Ильгизович из Уфимского государственного нефтяного технического университета, им написано более 30 работ по данной тематике.

Так же созданием и эксплуатацией контроллеров и станций управлений, которые включают в себя снятие и обработку ваттметрограмм занимаются как отечественные, так и иностранные компании в основном производства США. «ABB» (США), «Lufkin Automation» (США), «eProduction Solutions» (США), «Automation Electronics» (США), «DrSCADA Automation» (США), «International», ЗАО Линт (Россия, г.Казань), ГУПНН «Авитрон-Ойл» (Россия, г.Уфа), НПФ «Интек» (Россия, г.Уфа), «Шатл» (Россия, г.Казань), ООО «Аякс» (Россия, г.Ульяновск), «НПО «Интротест» (Россия, г.Екатеринбург), ННП «Рос» (Россия, г.Пермь), ООО "НГП ИНФОРМ (Россия, г.Уфа). [2]

Выполняемые функции касаются анализа ваттметрограмм иностранных и отечественных систем аналогичны, отличаются лишь алгоритмы их реализации. В зарубежных контроллерах в большинстве случаев есть средства ввода и отображения информации непосредственно на объекте – графические дисплеи с клавиатурой. В отечественных разработках для настройки предусматривается подключение ноутбука, в некоторых в самой станции управления возможна установка специальной панели отображения информации. Стоимость импортных систем существенно выше, чем стоимость отечественных разработок. Кроме того, при использовании отечественных станций управления все проблемы с ремонтом и модернизацией оборудования будут решаться значительно быстрее. [2]

В настоящее время, в связи с повышенными требованиями к качеству и надежности контроля за работой станков-качалок при минимальных затратах по обслуживанию, ваттметриграфический метод заслуживает внимание и дальнейшего развития.

Материалы и методы (Materials and methods)

Конструкция ШСНУ очень проста и состоит из двух основных частей непосредственно самого станка-качалки то есть привода насоса, собственно которое мы и видим на поверхности земли и подземные его части находящийся в самой скважине то, что скрыто от наших глаз глубоко под землей и это, как правило, штанги насосно-компрессорные трубы (НКТ) и скважинный погружной насос.

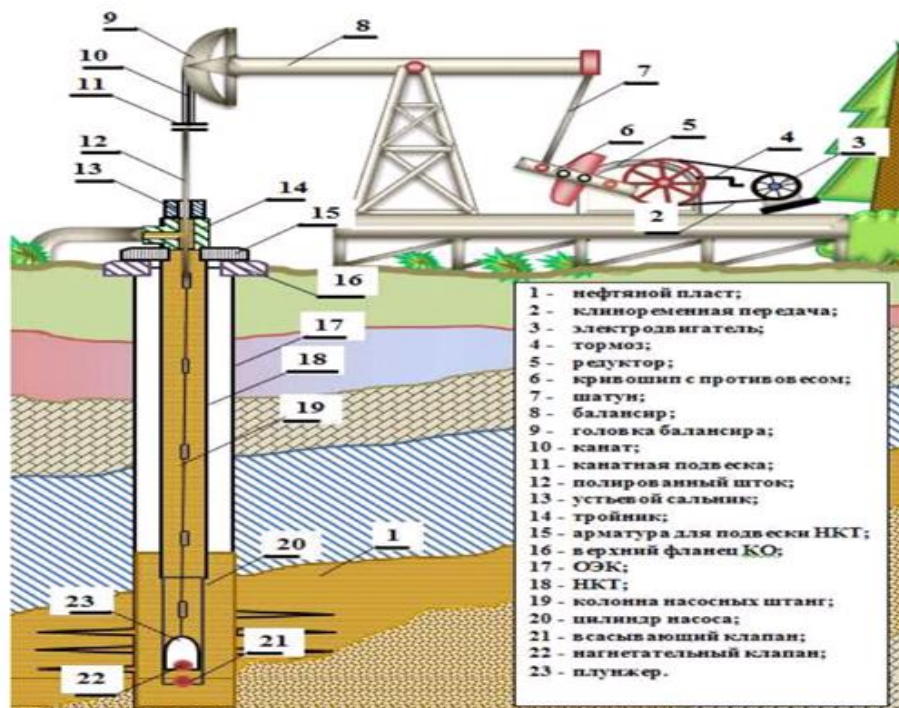


Рис. 2. Конструкция ШСНУ

Fig. 2. Design of sucker rod pumping unit

Надземная часть состоит из электродвигателя привода насоса, который качает нефть, он стоит на земле, на бетонной плите и постоянно работает, качаясь сверху вниз туда и обратно по принципу кривошипно-шатунного механизма. Электродвигатель качалки передает вращательное движение через редуктор и ременную передачу на кривошип, который преобразует эту энергию из вращательного в возвратно-поступательное движение шатунов и траверсы. В итоге мы получаем попеременное качания балансира, вверх и вниз тем самым обеспечивая поднятие и опускание подземных элементов насоса.

Подземная часть - это единая сборная конструкция, которая подвешивается путем скрепления многочисленных насосно-компрессорных труб насосных штанг и штангового насоса, находится глубоко под землей на расстоянии от 500 метров до нескольких километров от поверхности земли.

Штанговый скважинный насос включает в себя такие основные элементы как: корпус в виде цилиндра, внутри установлен поршень или плунжер, который является вытеснителем. За счет энергии подаваемой приводом посредством штанги, вытеснитель может линейно перемещаться внутри корпуса. Всасывающий обратный клапан, установлен в нижней части насоса, нагнетательный (напорный) обратный клапан, установлен в верхней части насоса.

Обратные клапаны позволяют жидкости протекать только в одном направлении. При движении поршня вверх и за счет увеличения объема в камере создается разрежение, в

результате чего жидкость через всасывающий клапан попадает в полость насоса. (Рис.3 б) Запорный элемент нагнетательного клапана в этот момент прижат к седлу, следовательно, этот клапан закрыт. Во время движения плунжера вниз объем рабочей камеры уменьшается, давление в ней возрастает, под действием этого давления всасывающий клапан закрывается, а нагнетательный отрывается. (Рис.3 в). Жидкость через нагнетательный клапан начинает поступать в полость над плунжером. При каждом цикле в скважину будет поступать новая порция нефти, которая постепенно будет подниматься вверх (Рис. 3 г).

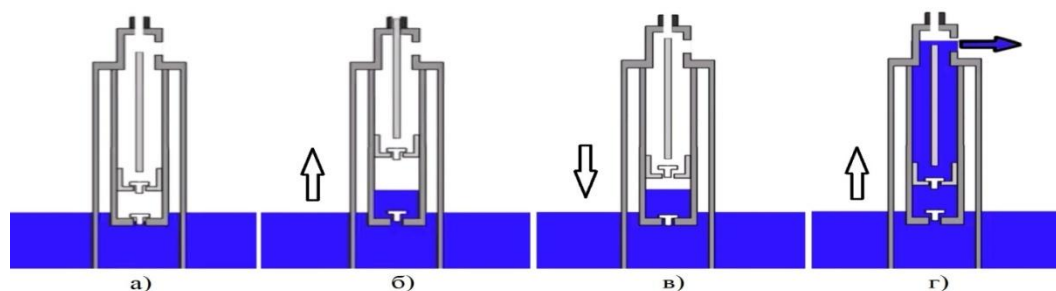


Рис. 3. Принцип действия штангового насоса

Fig. 3. Principle of operation of a sucker rod pump

Главной задачей любой диагностики, как и диагностики по параметрам ваттметрограммы, является установление технического состояния оборудования и его элементов, а также выявление неисправностей с целью рационального планирования технического обслуживания, эксплуатации и ремонта для обеспечения требуемой надежности. Ваттметрирование позволяет диагностировать работу ШСНУ. Ваттметрограмма это есть - зависимость мгновенных значений активной мощности, потребляемой электродвигателем ШСНУ, от времени в зависимости от угла поворота кривошипа: $P(t)$, $P(\phi)$, где t - время в течении одного периода T качания балансира СК, ϕ - угол поворота кривошипа.

Ваттметрирование является одним из лидеров по информативности методом контроля и диагностики оборудования ШСНУ. Простота измерения количества потребляемой мощности электродвигателем является достоинством ваттметрирования для этого необходимо установка только измерительных трансформаторов напряжения и тока на трех фазах электродвигателя, также есть возможность ведения учета электроэнергии потребляемой ШСНУ [3].

Для анализа ваттметрограмм понадобится массив данных состоящих мгновенных значений силы тока и напряжения с последующим их перемножением за один период качания. Также из этих массивов могут быть получены активная, реактивная и полная мощности, коэффициент мощности, действующая значения токов и напряжения. [4]

Ваттметрирование дает возможность обнаруживать следующие неисправности электродвигателя: перегрузку по току, перекос фаз, отклонение частоты питающего напряжения и др. Ваттметрограмма позволяет в реальном времени осуществлять контроль неисправностей таких как: обрыв штанг, дефект в механическом приводе, а именно биений в редукторе, разбалансировки противовесов, дефект как нагнетательного, так и всасывающего клапанов, фонтанные проявления в скважинах, обрыв и проскальзывания ремней, неисправности полированного штока и плунжера [4].

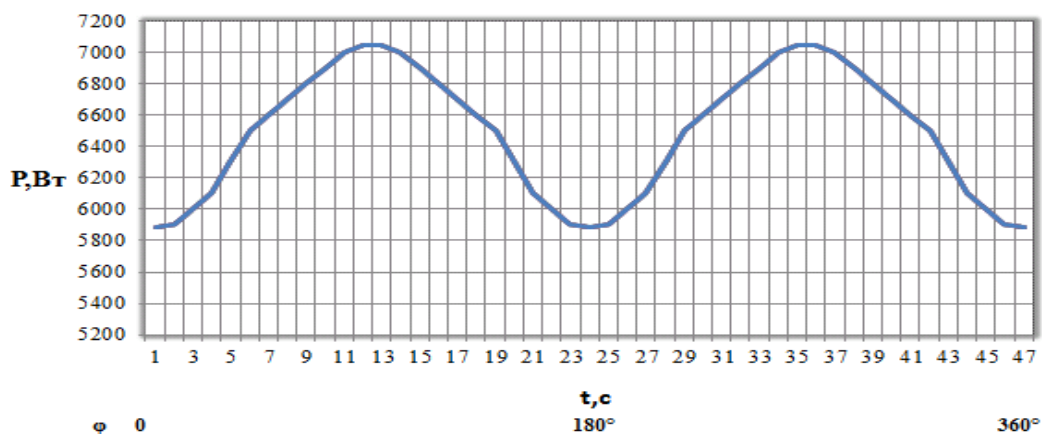


Рис. 4. Ваттметрограмма при нормальной работе установки

Fig. 4. Watt-metrogram during normal operation of the unit

Модуль ваттметрирования предназначен контроля и диагностики нефтяной скважины, оснащенной штанговым скважинным насосом в составе аппаратно-программного комплекса.

При работе в составе этого комплекса обеспечивает решение следующих задач: оперативное выявление аварийных ситуаций и несоответствия режимов эксплуатации оборудования автоматизация работы станка-качалки, оптимизация режимов работы оборудования, получение оперативной информации о состоянии объекта на пульт оператора или по сети телемеханики.

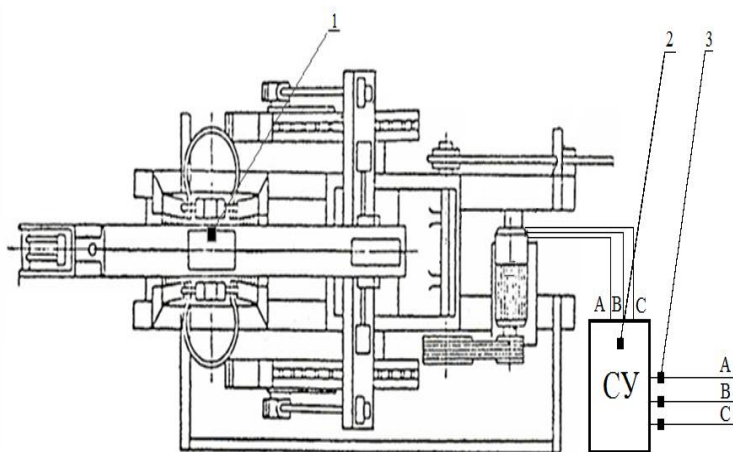


Рис. 5. Места установки датчиков на станок-качалку (вид сверху)

Fig. 5. Places of installation of sensors on the pumping unit (top view)

На рисунке 5 показано места установки датчиков, где 1 - акселерометр для определения периода работы СК, 2 - модуль ваттметрирования «CILK-UI», 3 – датчики тока и напряжения.

В данном методе для измерения переменного тока и напряжения применяются датчики на эффекте Холла. Основной частью для данных датчиков является тонкая, полупроводниковая, прямоугольная пластина с 4-мя электродами, из которых одна пара – токовые электроды предназначена для подведения тока управления подключена к коротким сторонам пластины. Вторая пара контактов, которые называются выходные контакты или холловские, предназначены для съема напряжения и располагается посередине длинных сторон. Напряжение Холла на выходных электродах возникает, если пластинку пронизывает магнитный поток, то подвижные носители зарядов образуют ток управления под действием силы Лоренца, что приводит к изменению числа носителей зарядов на концах пластинки.

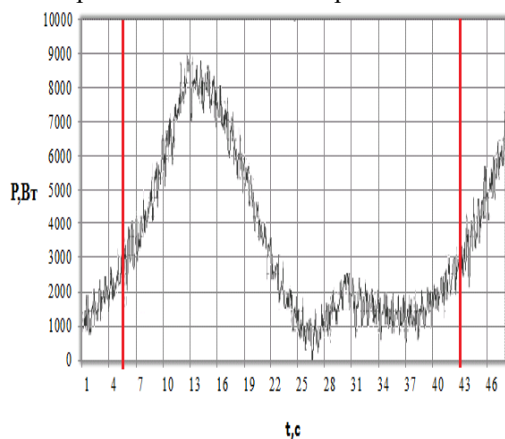
Модуль ваттметрирования предназначен непосредственно для построения ваттметрограмм с помощью измерения по трем фазам электродвигателей ШСНУ - токов, напряжений, потребляемой мощности и электроэнергии. Он устанавливается в шкаф управления скважиной или иной шкаф в соответствии с конструкторской документацией.

Модуль в процессе работы циклически измеряет значения поступающих на входные клеммы разъема Х1 тока и напряжения. По измеренным мгновенным значениям токов и напряжений трех фаз микроконтроллером модуля проводится вычисление заявленных параметров потребляемой оборудованием электроэнергии.

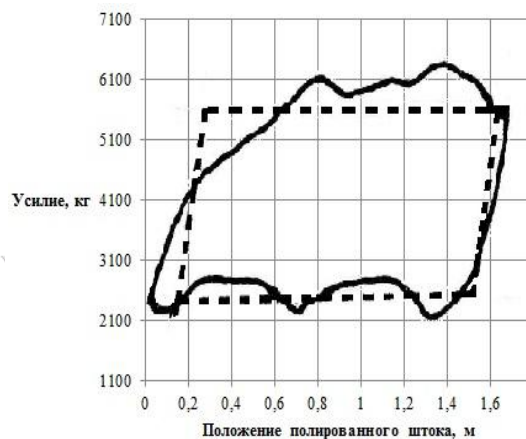
Для работы модуля необходимо, чтобы амплитуда входного напряжения фазы А превышала значение 20 Вольт переменного тока. В противном случае вычисления микроконтроллером не могут проводиться, и все результаты будут отсутствовать или могут быть неверными.

Вычисление заявленных параметров по каждой фазе ведется независимо (кроме сдвигов фаз напряжения между фазами А и В, А и С).

Далее рассмотрим неисправности ШСНУ на ваттметрограмме. Красными вертикальными отметками показан так называемый период качения станка-качалки нефти или верхнее положение полированного штока.



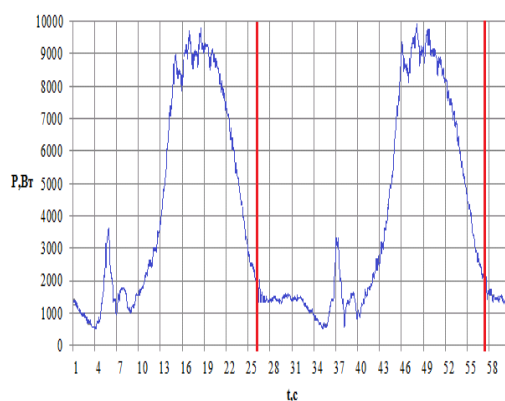
а)



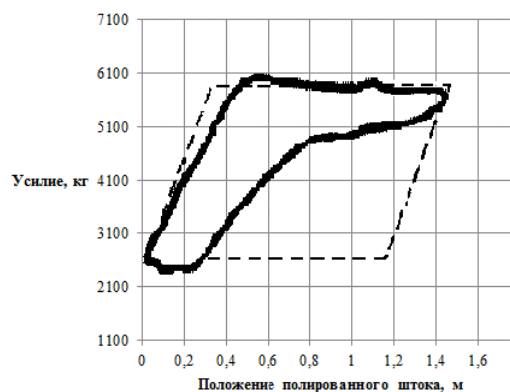
б)

Рис. 6. Дефект нагнетательного клапана а) ваттметрограмма б) динамограмма

Fig. 6. Defect of the discharge valve a) wattmetrogram b) dynamogram



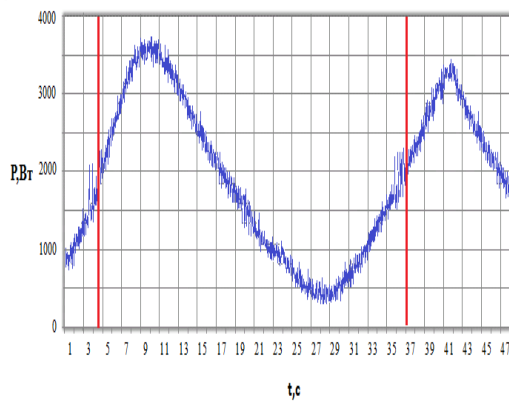
а)



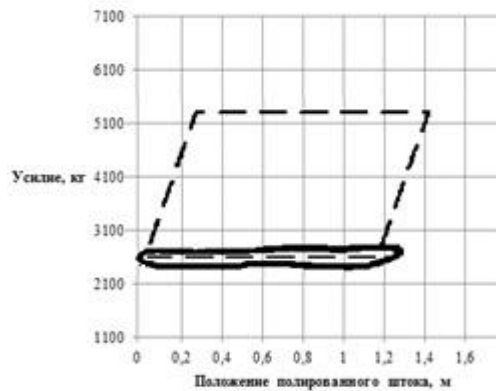
б)

Рис. 7. Наличие газа в скважине а) ваттметрограмма б) динамограмма

Fig. 7. Presence of gas in the well a) wattmetrogram b) dynamogram



а)



б)

Рис. 8. Обрыв штанг а) ваттметрограмма б) динамограмма

Fig. 8. Broken rods a) wattmetrogram b) dynamogram

Результаты (Results)

Было произведено снятие показаний в Республике Татарстан с действующей ШСНУ для анализа технического состояния нефтяного оборудования методом ваттметрирования и динамометрирования. По полученным данным построим ваттметрограмму в программном комплексе для решения задач технических вычислений «MATLAB».



Рис. 9. Ваттметрограмма с действующей ШСНУ

Fig. 9. Wattmetrogram with the current sucker rod pumping unit

И далее построим соответствующей данной ваттметрограмме динамограмму.

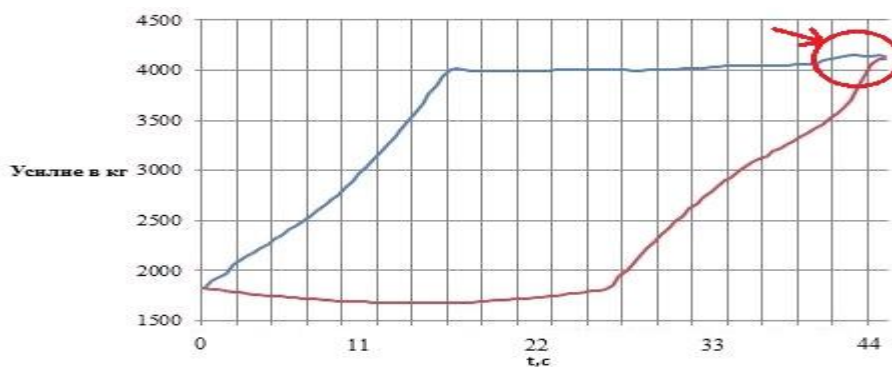


Рис. 10. Динамограмма с действующей ШСНУ

Fig. 10. Dynamogram with the current sucker rod pumping unit

На построенной ваттметрограмме мы видим неявный дефект небольших ударов плунжера о верхнюю ограничительную гайку вставного насоса.

Именно с построения сглаженного графика начинается обработка ваттметрограммы. Для его построения воспользуемся в программном комплексе

«MATLAB» фильтром низких частот Чебышева (фильтр скользящего среднего) и построим сглаженную ваттметрограмму.

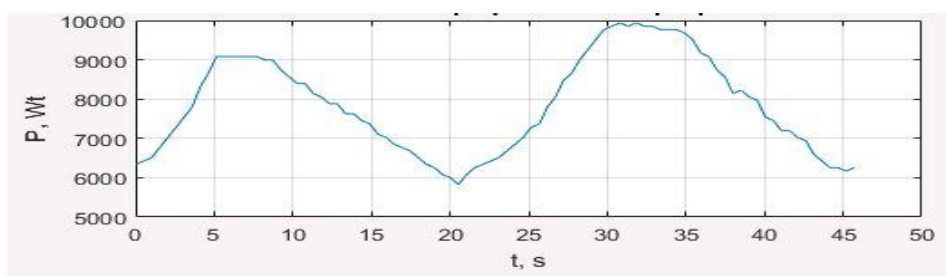


Рис. 11. Сглаженный график ваттметрограммы

Fig. 11. Smoothed wattmetrogram graph

Далее массив ваттметрограммы прогоняют через фильтр, отсекая постоянную (низкочастотную) составляющую, чтобы посмотреть вибрации, удары, шумы. Высокочастотная составляющая при этом располагается относительно нулевой оси, поэтому имеет отрицательные значения. Это позволяет увидеть наличие ударов, заеданий в определенные моменты времени, обнаружить дефекты станка-качалки и редуктора (в зубчатых передачах).

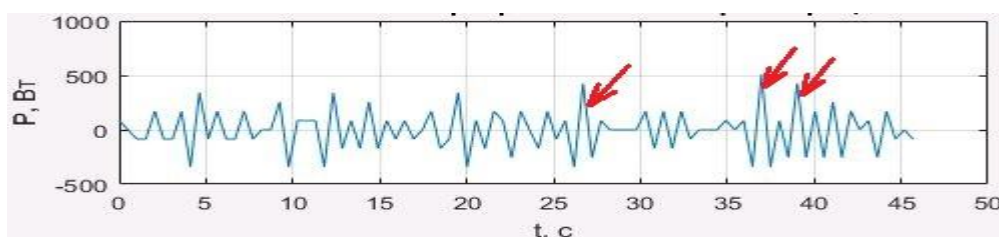
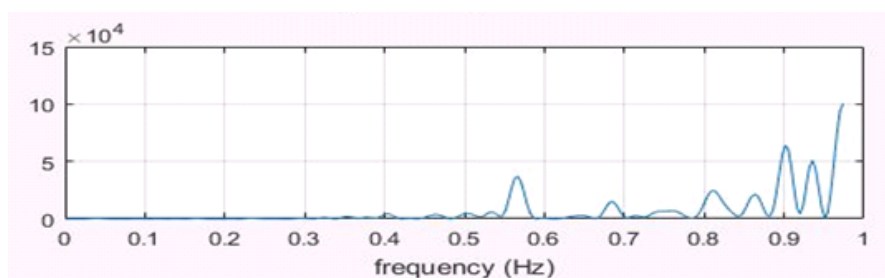


Рис. 12. Массив ваттметрограммы после фильтрации

Fig. 12. Array of wattmetrogram after filtration

После чего строим спектр данной ваттметрограммы, пропуская его через фильтр высоких частот, тем самым убирая из получившегося спектра значения с высокой частотой.



a)

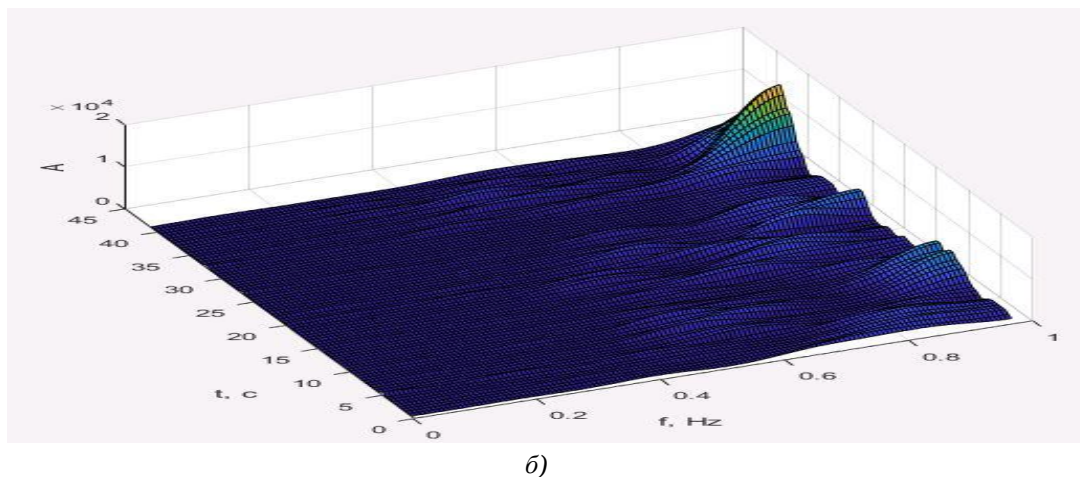


Рис.13.Частотный спектр сигнала в двухмерном и трехмерном виде

Fig. 13. Signal frequency spectrum in 2D and 3D view

Анализируя массив ваттметрограмм и его спектр (Рис. 12 и рис. 13) можно утверждать, что на 26,37 и 39 секунде имеется превышение среднего значения энергии шума в 2,5 раза и больше, что соответствует ударам с частотой 0,8...1Гц. Как мы можем заметить, что на 37 секунде присутствует наибольший удар, который диагностируется и с помощью построенной динамограммы (Рис. 10).

Заключение (Conclusions)

В полном объеме рассмотрено ваттметрирование ШСНУ, построение ваттметрограммы и способ ее сглаживания, построение спектра. Диагностирование с помощью этих параметров. Анализ ваттметрограмм дает возможность осуществлять контроль состояния штанговых скважинных насосных установок. С помощью ваттметрограмм могут быть рассчитаны коэффициент полезного действия станка-качалки, а также его сбалансированность. Для определения вибрационных и ударных нагрузок нам поможет анализ спектра ваттметрограмм, что дает возможность диагностировать дефекты подшипников и редуктора.

Основными преимуществами ваттметрирования перед конкурирующим методом диагностики, а именно перед методом динамометрирования является:

- относительно малое количество датчиков (трансформаторы тока и напряжения);
- возможность измерения потребляемой приводом электроэнергии;
- возможность интеграции с автоматизированными системами технического и коммерческого учёта электроэнергии.

Как уже упоминалось выше, метод ваттметрирования является достоверным и надежным методом диагностики ШСНУ, который позволяет не только ее подземной части насосной установки, но и наземной части, как например динамограмма.

Метод ваттметрирования исторически появился раньше метода динамометрирования, но не получил столь большого развития из-за отсутствия быстрого компьютерного расчета, в отличие от динамометрирования, по которому было написано множество научных работ.

Постройка динамограммы с помощью ваттметрирования и современного компьютерного оборудования поможет увеличить эффективность обоих методов, со стороны ваттметрирования – это легкость установки, минимальное количество датчиков и более глубокий анализ неисправностей с помощью спектра ваттметрограмм, а со стороны динамометрирования – это разработанность данной темы. В совокупности получившийся метод диагностики оборудования обладает преимуществами перед другими неразрушаемыми методами диагностики.

Литература

1. Исмагилов С.Ф., Гизатуллин А.Р., Салахова Г.Р. Анализ методов диагностирования технического состояния скважинных штанговых установок // Информационные технологии. проблемы и решения: материалы международной научно-практической конференции. -2016.- № 1(3).- С.35-38.
2. Хакимьянов М.И., Ковшов В.Д., Чикишев А.М., и др. Контроллеры автоматизации установок штанговых глубинных насосов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2007. № 1. С.44.
3. Хакимьянов М. И. Повышение энергоэффективности и оптимизация режимов работы электроприводов в нефтедобывающей промышленности: дис. ... док. техн. наук: 05.09.03: защищена 01.03.19: М., 2018. 355 с.
4. Хакимьянов М.И., Пачин М.Г. Мониторинг состояния штанговых глубиннонасосных установок по результатам анализа ваттметрограмм // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. №5. С. 26-36. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Hakimyanov/Hakimyanov_7.pdf
5. Петров Т.И., Сафин А.Р., Ившин И.В., и др. Модель системы управления станком-качалкой на основе синхронных двигателей с бездатчиковым методом. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018;20(7-8):107-116.
6. Цветков А.Н., Корнилов В.Ю., Сафин А.Р., и др. Управляющая измерительно-информационная система экспериментального стенда. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(4):88-98.
7. Ryssel U, Ploennigs J., Kabitzsch K., et al. Generative Design of Hardware-in-the-Loop Models // APGES'07. Salzburg, Austria, 2007. P. 4–11.
8. Цветков А.Н., Сафин А.Р., Гибадуллин Р.Р., Ившин И.В. Испытательный стенд с программно-аппаратным комплексом для исследования электрической машины возвратно- поступательного действия. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. №3-4. С.105-111.
9. Ившин И.В., Сафин А.Р., Гибадуллин Р.Р., и др. Анализ развития электроприводов для станков-качалок нефти по результатам патентного поиска. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019;21(5):3-13.
10. Хакимьянов М.И. Обработка ваттметрограмм штанговых глубиннонасосных установок // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Рег.№ 2012616130 от 04.07.2012.
11. Kadasheva U.M. Improvement of algorithm for converting the watmetrograms into dynamograms considering the mass of horsehead // Azerbaijan Oil Industry journal. Baku .- 2020. №2pp. 87-89.
12. Torgaeva D.S., Sukhorukov M.P., Shinyakov Y.A. Development of a Sucker Rod Pumping Unit Simulation Model // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019. October. V. 9, Issue 1. P. 4403–4409
13. Frendo E., Bonamy D. English for the Oil Industry 1 Course Book. Pearson Education ESL 2017- P 80.
14. Roberto L. Soza. Review of Downhole Dynamometer Testing [электронный ресурс]. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-35217-MS> (дата обращения 01.03.2021)
15. J.F. Lea, Cleon Dunham, Lynn Rowlan. Well Modelling: Optimized Production and Troubleshooting Using Nodal Analysis [электронный ресурс]. URL: https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/10/09_WellModeling.pdf (дата обращения 17.03.2021).

Авторы публикации

Манахов Валерий Александрович – ассистент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

Цветков Алексей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

References

1. Ismagilov SF, Gizatullin AR, Salakhova GR. *Analysis of methods for diagnosing the technical condition of downhole rod rigs. Information technologies. Problems and solutions: materials of the international scientific and practical conference.* 2016;1(3):35-38.
2. Khakimyanov MI, Kovshov VD, Chikishev AM., et al. Controllers for automation of sucker rod pump installations. *Electronic scientific journal «Oil and Gas Business».* 2007. № 1. p.44.
3. Khakim'yanov M.I. *Increase of energy efficiency and optimization of operating modes of electric drives in the oil-producing industry: dis. ... doc. tech. Sciences: 05.09.03: protected 01.03.19: / Khakim'yanov Marat Il'gizovich. M., 2018 . 355 p.*
4. Khakim'yanov MI., Pachin MG. Monitoring of the state of sucker rod pumping units based on the results of the analysis of wattmetrograms. *Electronic scientific journal «Oil and Gas Business»* 2011;5:26-36. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Hakimyanov/Hakimyanov_7.pdf
5. Petrov TI, Safin AR, Ivshin IV, et al. Model of the control system rocking machines of oil the basic of a synchronous engines with the sensorless method. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2018;20(7-8):107-116.
6. Tsvetkov A.N., Kornilov V.Yu., Safin A.R., et al. Control measuring and information system of the experimental stand. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2020;22(4):88-98.
7. Ryssel U, Ploennigs J, Kabitzsch K, et al. *Generative Design of Hardware-in-the-Loop Models.* APGES'07. Salzburg, Austria, 2007. P. 4-11..
8. Tsvetkov AN, Safin AR, Gibadullin RR, et al. Hardware-software system test bench for studies of a reciprocating electrical machine. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2016 №3-4 pp.105-111.
9. Ivshin IV, Safin AR, Gibadullin RR, et al. Analysis of the development of electric drives for oil rocking machines by the results of patent search. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2019;21(5):3-13.
10. Khakim'yanov MI. Processing of wattmetrograms of sucker rod pumping units. *Certificate of state registration of a computer program.* Registration No. 2012616130 dated 04.07.2012.
11. Kadasheva UM. Improvement of algorithm for converting the watmetrograms into dynamograms considering the mass of horsehead. *Azerbaijan Oil Industry journal.* Baku. 2020;2:87-89.
12. Torgaeva DS, Sukhorukov MP, Shinyakov YA, et al. Development of a Sucker Rod Pumping Unit Simulation Model. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT).* 2019. October. V. 9, Issue 1. pp. 4403–4409.
13. Frendo E, Bonamy D. *English for the Oil Industry.* Pearson Education ESL 2017. P 80.
14. Roberto L. Soza. Review of Downhole Dynamometer Testing [electronic resource]. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-35217-MS> (date of request 01.03.2021)
15. Lea JF, Cleon Dunham, Lynn Rowlan. Well Modelling: Optimized Production and Troubleshooting Using Nodal Analysis [electronic resource]. URL: https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/10/09_WellModeling.pdf (date of request 17.03.2021).

Authors of the publication

Valeriy A. Manakhov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Alexey N. Tsvetkov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Получено 13.05.2021 г.

Отредактировано 31.05.2021 г.

Принято 11.06.2021 г.