Transaction of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems, Vol. XXXVII, No.3, 2017
www.isi.az/journal/2017/3-13.pdf

УДК 519.216

Т.А. АЛИЕВ, Н.Ф. МУСАЕВА, М.Т. СУЛЕЙМАНОВА

ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШТАНГОВОГО ГЛУБИННОГО НАСОСА (ШГН) ПО ОЦЕНКАМ ХАРАКТЕРИСТИК ПОМЕХИ

Показано, что изменение технического состояния штангового глубинного насоса сопровождается появлением аддитивной помехи, искажающей полезный сигнал. Разработаны алгоритмы и программные средства вычисления характеристик помехи. Предложена технология выявления неисправности на ранней стадии и определения динамики ее развития с помощью функции плотности распределения помехи.

Ключевые слова: штанговые глубинные насосы, техническое состояние, характеристики помехи

1. Введение. Известно, что самым простым, эффективным и надежным способом подъема нефти является добыча при помощи штанговых насосов, которые обладают высоким коэффициентом полезного действия; позволяют проводить ремонт непосредственно на промыслах; могут быть применены в осложненных условиях эксплуатации, например, в пескопроявляющих скважинах, при наличии в добываемой нефти парафина, при высоком газовом факторе, при откачке коррозионной жидкости и т.д. [1].

Однако при эксплуатации штанговых насосов возникают такие неисправности, как прихват плунжера; утечка нагнетательного клапана (УНК); утечка нагнетательного клапана (УНК) и труб; утечка приемного клапана (УПК); течь в насосных трубах; ослабление, приводящее к обрыву штанг. Чтобы избежать появления этих дефектов, как правило, используют различные технические методы эксплуатации. Например, ограничение по глубине спуска и малая подача насоса дает возможность уменьшить вероятность обрыва штанг, ограничение по наклону ствола скважины дает возможность избежать прихват плунжера и т.д.

Кроме того, для каждого конкретного условия применяют наиболее подходящий тип насоса, например, штанговые насосы вставные (НСВ) или не вставные (НСН). Вставные штанговые насосы спускают в скважину в собранном виде [1]. Не вставные насосы спускаются в полуразобранном виде. Например, при условии содержания в нефти большого количества парафина предпочтительно применение не вставных насосов. Парафин, откладываясь на стенках насосно-компрессорной трубы (НКТ), может заблокировать возможность поднятия плунжера вставного насоса. Для глубоких скважин предпочтительнее использовать вставной насос, чтобы снизить затраты времени на спуск-подъем НКТ при смене насоса [1].

Как следует из вышеуказанного, основной и первоочередной задачей эксплуатации штанговых насосов является обеспечение бесперебойной работы и продление срока службы насосных устройств. Однако запасные части и устройства со временем все равно выходят из строя и появляются различные дефекты, износы, коррозии, трещины, поломки и др. Поэтому использование только перечисленных технических способов предотвращения возникновения неполадок и аварий оказывается недостаточным. Для полноценного и всестороннего мониторинга и контроля за техническим состоянием штанговых насосов необходимо иметь возможность выявления начала скрытого периода зарождения неисправности, а также определения степени развития неисправностей, приводящих к появлению перечисленных дефектов. Решение этой задачи требует разработки новых специфических технологий, которые и предлагаются в данной работе.

2. Постановка задачи. Известно, что для мониторинга и контроля технического состояния штанговых насосов в информативных местах устанавливают систему датчиков, например, датчик усилия, датчик угла поворота кривошипа станка-качалки, датчик устьевого давления, датчик затрубного давления, скважинный контроллер, преобразователь частоты, радиопередатчик, датчик оборотов ротора электродвигателя, датчики ваттметрирования и т.д. На основании информации, получаемой от датчика усилия, строятся динамограммы, которые позволяют технологу эвристически определить вид неисправности. Однако это становится возможным, когда дефект приобретает явно выраженную форму.

В то же время известно, что появление вышеуказанных дестабилизирующих факторов и неисправностей штанговых насосов сопровождается возникновением случайной помехи $\mathrm{E}(t)$, которая накладывается на полезный сигнал $X(t)$ и искажает его $G(t)=X(t)+\mathrm{E}(t)$. В работах [5-9] показано, что вычисление значений характеристик помехи позволяет на ранней стадии установить наличие неисправности в техническом состоянии нефтяного оборудования, а вычисление функции плотности распределения позволяет выявить степени развития неисправности штангового глубинного насоса (ШГН). Совместное использование всех вычисленных характеристик помехи позволит более эффективно решить задачу мониторинга и контроля в соответствующих системах.

Пусть от датчика усилия ШГН поступает зашумленный сигнал $G(t)=X(t)+\mathrm{E}(t)$, состоящий из полезной составляющей $X(t)$ и помехи $\mathrm{E}(t)$, свидетельствующей о появлении технической неисправности. Сигналы $X(t)$, $\mathrm{E}(t)$, $G(t)$ являются случайными стационарными эргодическими процессами, и помеху $\mathrm{E}(t)$невозможно выделить из. Сигнал $G(t)$ дискретизирован шагом Δt, выбранным в соответствии с условием: $\Delta t = 1/2\omega_\varepsilon$, где ω_ε – частота среза помехи.

Для простоты изложения рассмотрим один дискретизированный случайный сигнал $G(\Delta t)$, для которого можно вычислить такие характеристики как математическое ожидание m_G, дисперсию D_G, среднее квадратическое отклонение σ_G, корреляционную функцию $R_{GG}(\tau)$ по формулам [5-9]:

$$m_G = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} G(i\Delta t),$$

$$D_G = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[\overset{\circ}{G}(i\Delta t)\right]^2,$$

$$\sigma_G = \sqrt{D_G},$$

$$R_{GG}(\mu) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\overset{\circ}{G}(i\Delta t)\overset{\circ}{G}((i+\mu)\Delta t), \tag{2.1}$$

где $\overset{\circ}{G}(i\Delta t) = G(i\Delta t) - m_G$, μ =0, Δt, $2\Delta t$, $3\Delta t$, …. – временной сдвиг.

Так как стационарная случайная помеха $\mathrm{E}(t)$ является эргодической, то ее математическое ожидание m_{E} и среднее квадратическое отклонение σ_{E} имеют одно и то же значение для любой из случайных функций, входящих в совокупность. При этом известно, что шумы носят случайный характер и представляют собой более высокочастотную по сравнению с полезным сигналом случайную функцию со случайной амплитудой и фазой. Кроме того, традиционно предполагают, что помеха является белым шумом и описывается нормальным законом распределения с нулевым математическим ожиданием [2-9]. Поэтому функцию плотности нормального распределения гауссовой помехи $\mathrm{E}(t)$ можно определить по выражению [2-9]:

$$N(\varepsilon; m_{\mathrm{E}}, \sigma_{\mathrm{E}}) = N(\varepsilon),$$

$$N(\varepsilon) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\mathrm{E}}^2}} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma_{\mathrm{E}}^2}}. \tag{2.2}$$

Из этой формулы очевидно, что для вычисления функции плотности распределения помехи $N(\varepsilon)$ необходимо знание значения среднего квадратического отклонения σ_{E} помехи. Значение среднего квадратического отклонения σ_{E} помехи позволяет осуществить индикацию момента зарождения дефекта. Вычисление же функции плотности распределения помехи $N(\varepsilon)$ позволяет определить степень развития этой неисправности, так как различным степеням неисправности соответствуют различные значения функции плотности распределения $N(\varepsilon)$, т.е. различные значения максимума и точек перегиба. Именно знание этих характеристик позволяет осуществлять мониторинг и контроль технического состояния штангового глубинного насоса (ШГН).

Если вычислять эти характеристики через определенный промежуток времени и проводить сравнительный анализ их значений, то можно определить момент зарождения неисправности, а также составить карту развития этой неисправности во времени. Поэтому ниже предлагаются технологии мониторинга и контроля технического состояния штангового глубинного насоса (ШГН) с помощью перечисленных характеристик помехи.

3. Алгоритмы вычисления характеристик помехи. Из формулы (2.2) очевидно, что функция нормального распределения $N(\varepsilon)$ помехи $\mathrm{E}(t)$ зашумленного сигнала $G(t)$ характеризуется двумя параметрами: математическим ожиданием m_{E} и средним квадратическим отклонением $\sigma_{\mathrm{E}} = \sqrt{D_{\mathrm{E}}}$ (или корнем квадратным из дисперсии). Так как помеха $\mathrm{E}(t)$ распределена по нормальному закону с нулевым средним $m_{\mathrm{E}} = 0$, то задача сводится к вычислению только параметра σ_{E}. Для этого воспользуемся выражением (2.1) для вычисления корреляционной функции $R_{GG}(\mu)$ случайного зашумленного стационарного сигнала $G(t)$, обладающего свойством эргодичности [5-9]. Учитывая, что исходный сигнал $X(t)$ и помеха $\mathrm{E}(t)$ некоррелированы, т.е.

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \overset{\circ}{X}(i\Delta t)\overset{\circ}{\mathrm{E}}((i+\mu)\Delta t) = 0, \quad \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \overset{\circ}{\mathrm{E}}(i\Delta t)\overset{\circ}{X}((i+\mu)\Delta t) = 0,$$

можно написать [2-9]:

$$R_{GG}(\mu) = R_{XX}(\mu) + R_{\mathrm{EE}}(\mu). \tag{3.1}$$

На практике для таких инфра низкочастотных медленно протекающих технологических процессов как нефтепереработка, нефтехимия, когда $\mu = \Delta t$ значительно (многократно) мало по сравнению с временем наблюдения T, помеха $\mathrm{E}(t)$ формируется из высокочастотных спектров в результате возникновения таких неисправностей как износ, коррозия, нагарообразование и т.д. и имеет более высокий спектр, чем сама полезная составляющая $X(t)$. Значение же полезной составляющей за промежуток времени Δt не успевает измениться, и $X(t+\Delta t)$ совпадает со значением $X(t)$, то есть

$$X(t+\Delta t) = X(t). \tag{3.2}$$

Это равенство выполняется для случаев, когда T составляет, например, 30-50 часов, а Δt – секунды или минуты. В этом случае шаг дискретизации Δt выбирается, исходя из спектра помехи $\mathrm{E}(t)$, а не полезной составляющей $X(t)$, тот есть $\Delta t = 1/2\omega_\varepsilon$, где ω_ε − частота среза помехи.

Очевидно, что строгое равенство (3.2) справедливо не для всех реальных процессов, а для таких как нефтепереработка, нефтехимия. Для остальных технологических процессов допустимо приближенное равенство.

Тогда для указанных производственных объектов при выполнении условия (3.2) отношение $\dfrac{R_{XX}(\mu=\Delta t)}{R_{XX}(0)}$ равно единице, то есть [10-11]:

$$R_{XX}(\mu=\Delta t) = R_{XX}(0).$$

В то же время в силу того, что случайная помеха $\mathrm{E}(t)$ возникает при суммировании независимых белых шумов, то она имеет время корреляции μ=0, и корреляционная функция $R_{\mathrm{EE}}(\mu)$ представляет собой δ-функцию [11], т. е.

$$R_{\mathrm{EE}}(\mu) = \begin{cases} R_{\mathrm{EE}}(\mu) & \textit{при} \;\; \mu = 0 \\ 0 & \textit{при} \;\; \mu \neq 0 \end{cases}. \tag{3.3}$$

Поэтому, если вычислить оценку корреляционной функции $R_{GG}(\mu)$ зашумленного сигнала при μ=0, получим:

$$R_{GG}(\mu=0) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \overset{\circ}{G}(i\Delta t)\overset{\circ}{G}(i\Delta t) = R_{XX}(\mu=0) + R_{\mathrm{EE}}(\mu=0) = D_X + D_{\mathrm{E}}, \tag{3.4}$$

где D_X, D_{E} − дисперсии соответственно полезного сигнала и помехи.

При достаточно малом по сравнению с временем наблюдения T временном интервале $\mu=\Delta t$ оценка авто корреляционной функции $R_{GG}(\mu=\Delta t)$ зашумленного сигнала $G(t)$ приобретает вид:

$$R_{GG}(\mu=\Delta t) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \overset{\circ}{G}(i\Delta t)\overset{\circ}{G}((i+1)\Delta t) = R_{XX}(\mu=\Delta t) + R_{\mathrm{EE}}(\mu=\Delta t).$$

Если найти разницу между оценками авто корреляционной функции зашумленного сигнала $G(t)$ при μ=0 и $\mu=\Delta t$, то с учетом выражений (3.1)-(3.4) получим:

$$R_{GG}(\mu=0) - R_{GG}(\mu=\Delta t) = R_{\mathrm{EE}}(\mu=0).$$

Отсюда следует, что оценку дисперсии D^*_{E} помехи $\mathrm{E}(t)$ зашумленного сигнала $G(t)$ можно вычислить по выражению:

$$D^*_{\mathrm{E}} = R_{GG}(\mu=0) - R_{GG}(\mu=\Delta t).$$

Однако в более ранних работах [1-4] были также предложены формулы вычисления дисперсии помехи для более общего случая, когда $\mathrm{E}(t)$ не является белым шумом, а $R_{\mathrm{EE}}(\mu)$ – δ-функцией. Эту формулу также можно использовать для вычисления функции плотности распределения помехи:

$$D^*_{\mathrm{E}} = R_{GG}(\mu=0) - 2\,R_{GG}(\mu=\Delta t) + R_{GG}(\mu=2\Delta t). \tag{3.5}$$

Следовательно, среднее квадратическое отклонение σ^*_{E} помехи $\mathrm{E}(t)$ можно вычислить для частного и общего случаев соответственно по выражениям [5-9]:

$$\sigma^*_{\mathrm{E}} = \sqrt{D^*_{\mathrm{E}}} = \begin{cases} \sqrt{R_{GG}(\mu=0) - R_{GG}(\mu=\Delta t)} & \textit{для частного случая} \\ \sqrt{R_{GG}(\mu=0) - 2R_{GG}(\mu=\Delta t) + R_{GG}(\mu=2\Delta t)} & \textit{для общего случая} \end{cases}. \tag{3.6}$$

Тогда функцию плотности нормального распределения $N(\varepsilon, m_\varepsilon, \sigma_\varepsilon)$ помехи $\mathrm{E}(t)$ зашумленного сигнала $G(t)$ с математическим ожиданием $m_{\mathrm{E}} = 0$ с учетом формулы (2.2) можно найти по выражению [5-9]:

$$N^*(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma_{\mathrm{E}}^* \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\left(\sigma_{\mathrm{E}}^*\right)^2}} =$$

$$\begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \left(R_{GG}(0) - R_{GG}(\Delta t)\right)}} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\left(R_{GG}(0) - R_{GG}(\Delta t)\right)}} & \textit{для частного случая} \\ \dfrac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \left(R_{GG}(\mu = 0) - 2R_{GG}(\mu = \Delta t) + R_{GG}(\mu = 2\Delta t)\right)}} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\left(R_{GG}(\mu=0) - 2R_{GG}(\mu=\Delta t) + R_{GG}(\mu=2\Delta t)\right)}} & \textit{для общего случая} \end{cases} \quad (3.7)$$

Максимум функции плотности распределения $N_{\max}(\varepsilon)$ помехи $\mathrm{E}(t)$ зашумленного сигнала $G(t)$ с учетом условия $m_{\mathrm{E}} = 0$ и выражений (3.6), (3.7) можно представить в виде [5-9]:

$$N_{\max}^*(0) = \frac{1}{\sigma_{\mathrm{E}}^* \sqrt{2\pi}} = \begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \left(R_{GG}(0) - R_{GG}(\Delta t)\right)}} & \textit{для частного случая} \\ \dfrac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \left(R_{GG}(\mu = 0) - 2R_{GG}(\mu = \Delta t) + R_{GG}(\mu = 2\Delta t)\right)}} & \textit{для общего случая} \end{cases}.$$

С учетом условия $m_{\mathrm{E}} = 0$ и формулы (3.6) координаты точек перегиба $\left(-\sigma_{\mathrm{E}}^*; \frac{1}{\sigma_{\mathrm{E}}^* \sqrt{2\pi e}}\right)$ и $\left(\sigma_{\mathrm{E}}^*; \frac{1}{\sigma_{\mathrm{E}}^* \sqrt{2\pi e}}\right)$ функции плотности распределения помехи вычисляются по формулам [5-9]:

для первой точки по оси абсцисс:

$$A1 = \begin{cases} -\sqrt{\left(R_{GG}(0) - R_{GG}(\Delta t)\right)} & \textit{для частного случая} \\ -\sqrt{\left(R_{GG}(\mu = 0) - 2R_{GG}(\mu = \Delta t) + R_{GG}(\mu = 2\Delta t)\right)} & \textit{для общего случая} \end{cases};$$

для второй точки по оси абсцисс:

$$A2 = \begin{cases} \sqrt{\left(R_{GG}(0) - R_{GG}(\Delta t)\right)} & \textit{для частного случая} \\ \sqrt{\left(R_{GG}(\mu = 0) - 2R_{GG}(\mu = \Delta t) + R_{GG}(\mu = 2\Delta t)\right)} & \textit{для общего случая} \end{cases};$$

для первой и второй точек по оси ординат:

$$O = \begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{2\left(R_{GG}(0) - R_{GG}(\Delta t)\right)\pi e}} & \textit{для частного случая} \\ \dfrac{1}{\sqrt{2\left(R_{GG}(\mu = 0) - 2R_{GG}(\mu = \Delta t) + R_{GG}(\mu = 2\Delta t)\right)\pi e}} & \textit{для общего случая} \end{cases}$$

Таким образом, разработаны алгоритмы вычисления функции плотности распределения $N^*(\varepsilon)$, ее максимума $N_{\max}^*(0)$, а также точек перегиба $\left(-\sigma_{\mathrm{E}}^*; \frac{1}{\sigma_{\mathrm{E}}^* \sqrt{2\pi e}}\right)$ и $\left(\sigma_{\mathrm{E}}^*; \frac{1}{\sigma_{\mathrm{E}}^* \sqrt{2\pi e}}\right)$ нормально распределённой помехи $\mathrm{E}(t)$ с математическим ожиданием $m_{\mathrm{E}} = 0$ зашумленного сигнала $G(t)$, которые используются как индикаторы определения степени неисправности ШГНУ.

4. Технологии мониторинга и контроля технического состояния штангового глубинного насоса (ШГН) с помощью характеристик помехи.

Ниже предлагается технология мониторинга и контроля технического состояния штангового глубинного насоса (ШГН) при помощи характеристик помехи, вычисление которых описано в п.3.

1. По виду динамограммы оператор визуально определяет вид неисправности.
2. Проверяется условие наличия помехи [2-4].

2.1. Если

$$R_{GG}(\mu=0)-R_{GG}(\mu=\Delta t)=R_{GG}(\mu=\Delta t)-R_{GG}(\mu=2\Delta t), \quad (4.1)$$

то согласно формуле (3.5) значение дисперсии помехи D^*_{E} равно нулю. Это означает, что оператор ошибся, и неисправность не существует.

2.2. Если

$$R_{GG}(\mu=0)-R_{GG}(\mu=\Delta t)\approx R_{GG}(\mu=\Delta t)-R_{GG}(\mu=2\Delta t), \quad (4.2)$$

то согласно формуле (3.5) значение дисперсии помехи D^*_{E} незначительно отличается от нуля, и неисправность на самом начальном этапе.

2.3. Тогда для данного вида неисправности в момент времени t_1 вычисляются значения дисперсии и среднего квадратического отклонения помехи по выражениям:

$$D^*_{\text{E}_{t1}}=R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=0)-2\,R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=\Delta t)+R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=2\Delta t),$$

$$\sigma^*_{\text{E}_{t1}}=\sqrt{D^*_{\text{E}_{t1}}}\,.$$

2.4. Для данного вида неисправности в момент времени t_1 вычисляются значения функции плотности распределения следующим образом. Учитывая, что для нормально распределенного случайного процесса отклонение от математического ожидания по абсолютной величине не превышает утроенного среднего квадратического отклонения, дискретные значения дифференциальной функции распределения $N^*(\varepsilon)$ помехи $\text{E}(t)$ вычисляются в интервале $m^*_{\text{E}}\pm 3\sigma^*_{\text{E}}$, то есть при $m^*_{\text{E}}-3\sigma^*_{\text{E}}\le \text{E}(t)\le m^*_{\text{E}}+3\sigma^*_{\text{E}}$. Для этого:

− вычисляются минимальное и максимальное значения $\text{E}(t)$:

$$\varepsilon_{\min}=m^*_{\text{E}}-3\sigma^*_{\text{E}};\ \varepsilon_{\max}=m^*_{\text{E}}+3\sigma^*_{\text{E}};$$

− с определенным шагом $\Delta\varepsilon$ задается последовательность возможных значений $\text{E}(t)$ в порядке возрастания от $\varepsilon_{\min}$ до $\varepsilon_{\max}$:

$$\varepsilon(1)=\varepsilon_{\min},\ \varepsilon(i+1)=\varepsilon(i)+\Delta\varepsilon,\ \ldots,\ \varepsilon_{\max}$$

и формируется последовательность возможных значений помехи $\varepsilon(1)$, $\varepsilon(2)$, $\varepsilon(3)$, $\varepsilon(4)$, …, $\varepsilon_{\max}$, для которой выполняется условие $\varepsilon(i-1)<\varepsilon(i)$.

Затем в точках $\varepsilon(1)$, $\varepsilon(2)$, $\varepsilon(3)$, $\varepsilon(4)$, …, $\varepsilon_{\max}$ вычисляется функция плотности нормального распределения:

$$N^*(\varepsilon(i))=\frac{1}{\sigma^*_{\text{E}}\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\varepsilon(i)-m^*_{\text{E}})^2}{2(\sigma^*_{\text{E}})^2}}.$$

Учитывая, что m_{E} =0, в момент времени t_1 функцию плотности распределения $N^*(\varepsilon(i))$ следует вычислять в интервале $-3\sigma^*_{\text{E}}\le \text{E}(t)\le 3\sigma^*_{\text{E}}$ по выражению:

$$N^*_{t1}(\varepsilon(i))=\frac{1}{\sigma^*_{\text{E}_{t1}}\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\varepsilon(i))^2}{2(\sigma^*_{\text{E}_{t1}})^2}}$$

или

$$N^*_{t1}(\varepsilon(i)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \left(R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=0) - 2R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=\Delta t) + R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=2\Delta t)\right)}} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\left(R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=0)-2R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=\Delta t)+R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=2\Delta t)\right)}}$$

2.5. В момент времени t_1 определяется максимум функции плотности распределения помехи $\mathrm{E}(t)$ зашумленного сигнала $G(t)$, который находится в точке m_{E} =0, то есть при $\varepsilon_{\max}(i) = 0$:

$$N^*_{t1,\max}(0) = \frac{1}{\sigma^*_{\mathrm{E}_{t1}}\sqrt{2\pi}} \text{ или}$$

$$N^*_{\max}(0) = \frac{1}{\sigma^*_{\mathrm{E}}\sqrt{2\pi}} = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \left(R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=0) - 2R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=\Delta t) + R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=2\Delta t)\right)}} \right. .$$

2.6. В момент времени t_1 определяется интервал $\left(-\sigma^*_{\mathrm{E}_{t1}}; \frac{1}{\sigma^*_{\mathrm{E}_{t1}}\sqrt{2\pi e}}\right)$ и $\left(\sigma^*_{\mathrm{E}_{t1}}; \frac{1}{\sigma^*_{\mathrm{E}_{t1}}\sqrt{2\pi e}}\right)$ наиболее вероятных значений помехи по формулам [5-9]:

для первой точки по оси абсцисс:

$$A1_{t1} = -\sqrt{\left(R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=0) - 2R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=\Delta t) + R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=2\Delta t)\right)};$$

для второй точки по оси абсцисс:

$$A2_{t1} = \sqrt{\left(R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=0) - 2R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=\Delta t) + R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=2\Delta t)\right)};$$

для первой и второй точек по оси ординат:

$$O_{t1} = \frac{1}{\sqrt{2\left(R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=0) - 2R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=\Delta t) + R_{G_{t1}G_{t1}}(\mu=2\Delta t)\right)\pi e}}.$$

2.7. Полученные в момент времени t_1 значения дисперсии помехи $D^*_{\mathrm{E}_{t1}}$, среднеквадратического отклонения $\sigma^*_{\mathrm{E}_{t1}}$, значений функции плотности распределения $N^*_{t1}(\varepsilon(i))$, ее максимума $N^*_{t1,\max}(0)$ и точек перегиба по оси абсцисс $A1_{t1}$, $A2_{t1}$ и ординат O_{t1} заносятся в банк данных.

3. Затем происходит переход к пункту 2 и описанная процедура вычисления оценок помехи повторяется для момента времени t_2. Полученные в момент времени t_2 значения дисперсии помехи $D^*_{\mathrm{E}_{t2}}$, среднеквадратического отклонения $\sigma^*_{\mathrm{E}_{t2}}$, значений функции плотности распределения $N^*_{t2}(\varepsilon(i))$, ее максимума $N^*_{t2,\max}(0)$ и точек перегиба по оси абсцисс $A1_{t2}$, $A2_{t2}$ и ординат O_{t2} также заносятся в банк данных.

4. Проводится анализ оценок помехи, полученных в моменты времени t_1 и t_2, и делаются следующие выводы.

4.1. Если

$$D^*_{\mathrm{E}_{t1}} = D^*_{\mathrm{E}_{t2}},\ \sigma^*_{\mathrm{E}_{t1}} = \sigma^*_{\mathrm{E}_{t2}},\ N^*_{t1}(\varepsilon(i)) = N^*_{t2}(\varepsilon(i)),\ N^*_{t1,\max}(0) = N^*_{t2,\max}(0),$$
$$A1_{t1} = A1_{t2},\ A2_{t1} = A2_{t2},\ O_{t1} = O_{t2},$$

то динамика развития неисправности не наблюдается. Подобная ситуация может иметь место для таких неисправностей как утечка нагнетательного клапана (УНК), утечка нагнетательного клапана (УНК) и труб, утечка приемного клапана (УПК), течь в насосных трубах. Для такого рода неисправностей дефект развивается медленно (неинтенсивно).

Поэтому можно проводить профилактические работы в режиме нормальной эксплуатации объекта.

4.2. Если

$$D^*_{E_{t1}} \neq D^*_{E_{t2}},\ \sigma^*_{E_{t1}} \neq \sigma^*_{E_{t2}},\ N^*_{t1}(\varepsilon(i)) \neq N^*_{t2}(\varepsilon(i)),\ N^*_{t1,\max}(0) \neq N^*_{t2,\max}(0),$$
$$A1_{t1} \neq A1_{t2},\ A2_{t1} \neq A2_{t2},\ O_{t1} \neq O_{t2},$$

то неисправность находится в процессе развития.

Причем, если $D^*_{E_{t1}} > D^*_{E_{t2}}$, $\sigma^*_{E_{t1}} > \sigma^*_{E_{t2}}$, то это означает, что дефект увеличился и следует провести ремонтные работы. Такая ситуация наблюдается для такой неисправности как ослабление, приводящее к обрыву штанги. В этом случае необходимо срочно проводить ремонтные работы.

4.3. Если $D^*_{E_{t1}} \gg D^*_{E_{t2}}$, $\sigma^*_{E_{t1}} \gg \sigma^*_{E_{t2}}$, то это означает, что повреждение существенно, и неисправность развивается интенсивно. Такая ситуация наблюдается при возникновении опасности прихвата плунжера. Тогда необходимо остановить работу штангового насоса во избежание возникновение аварии.

5. Выводы. Разработаны алгоритмы мониторинга и контроля технического состояния штангового глубинного насоса (ШГН) с помощью таких характеристик как как дисперсия, среднеквадратическое отклонение, функция плотности распределения, ее максимум, точки перегиба по оси абсцисс и ординат. Показано, что в зависимости от степени изменения значений этих характеристик можно судить о возникновении и интенсивности развития дефекта штангового глубинного насоса. Разработанные технологии могут быть использованы для индикации таких дефектов как прихват плунжера; утечка нагнетательного клапана (УНК); утечка нагнетательного клапана (УНК) и труб; утечка приемного клапана (УПК); течь в насосных трубах; ослабление, приводящее к обрыву штанг и позволяют, определить момент, когда необходимо провести соответствующий ремонт, и, таким образом, избежать возникновение аварийных ситуаций.

Литература

1. http://vseonefti.ru/upstream/shtangovyi-nasos.html
2. Aliyev T.A., Musaeva N.F. An algorithm for Eliminating Microerrors of Noise in the Solution of Statistical Dynamics Problems // Automation and Remote Control. 1998, Vol. 59, No. 5, pp. 679-688.
3. Musaeva N.F. Robust correlation coefficients as initial data for solving a problem of confluent analysis // Automatic Control and Computer Sciences. 2007, Vol. 41, No. 2, pp. 76-87.
4. Musaeva N.F. Robust method of estimation with “contaminated” coarse errors // Automatic Control and Computer Sciences. 2003, No. 6, pp. 50-63.
5. Aliev T.A., Musaeva N.F., Suleymanova M.T., Gazizade B.I. Analytic representation of the density function of normal distribution of noise // Journal of Automation and Information Sciences. 2015, Vol. 47(8), № 4, pp.24-40.
6. Aliev T.A., Musaeva N.F., Suleymanova M.T., Gazizade B.I. Technology for calculating the parameters of the density function of normal distribution of the useful component in a noisy process // Journal of Automation and Information Sciences. 2016, Vol. 48, № 4, pp.35-55.
7. Aliev T.A., Musaeva N.F., Suleymanova M.T., Gazizade B.I. Digital algorithms for calculating the differential function of normal distribution of noise. // National Academy of Sciences of Azerbaijan. Reports. 2016, Vol. 72, № 1, pp.18-22.
8. Алиев Т.А., Мусаева Н.Ф., Сулейманова М.Т., Газызаде Б.И. Чувствительные алгоритмы выявления степени развития неисправности штанговой глубинной насосной установки // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017, Vol. 18, № 2, pp.94-102.
9. Алиев Т.А., Мусаева Н.Ф., Сулейманова М.Т. Функция плотности распределения помехи как индикатор для выявления степени развития неисправности штанговой глубинной насосной установки // Проблемы управления и информатики. 2017, № 2, pp.94-103.
10. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. — 5-е изд., М.: КНОРУС, 2013, с.448.

11. Техническая кибернетика. Книга 2. / Под ред. Солодовникова В.В. — М.: Машиностроение, 1967, с.682.

UOT 519.216

T.A. Əliyev, N.F. Musayeva, M.T. Süleymanova

Küyün xarakteristikalarının qiymətlərinə əsasən ştanqlı dərinlik nasosunun texniki vəziyyətinin monitorinqi və nəzarəti

Göstərilmişdir ki, ştanqlı dərinlik nasosunun texniki vəziyyətinin dəyişikliyi, faydalı siqnalı təhrif edən additiv maneənin yaranmasıyla müşayiət olunur. Küyün xarakteristikalarının hesablanmasının alqoritmlər və proqram vasitələri hazırlanmışdır. Küyün paylanma sıxlığı funksiyasının köməyi ilə nasazlığın ilkin mərhələdə aşkar olunması və onun inkişaf dinamikasının təyini texnologiyası təklif edilmişdir.

Açar sözlər: ştanqlı dərin nasoslar, texniki vəziyyət, maneənin xarakteristikaları

T.A. Aliev, N.F. Musaeva, M.T. Suleymanova

Technologies for the monitoring and control of the technical condition of the sucker rod pumping unit (SRPU) using the estimates of noise characteristics

It is shown that the change in the technical condition of sucker rod pumping units is accompanied with the appearance of additive noise that distorts the useful signal. Algorithms and software for calculating the noise characteristics are developed. A technology for detecting a malfunction at the early stage and determining the dynamics of its development using the density distribution function of the noise is proposed.

Keywords*:* sucker rod pumping units, technical condition, noise characteristics

Азербайджанский университет архитектуры и строительства
Институт Систем Управления НАН Азербайджана
Представлено 13.05.2017