

ОАО «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт релестроения с опытным производством»

КОНТРОЛЬ РАБОТЫ СТАНКОВ – КАЧАЛОК С РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА ОСНОВЕ ВАТТМЕТРОГРАММ

Станок – качалка нефти (СКН) с глубинным штанговым насосом на отечественных нефтепромыслах является одним из наиболее широко используемых механизмов для добычи нефти из подземных горизонтов. В целях повышения эффективности работы СКН внедряются автоматизированные электроприводы, современные средства управления и методы контроля и диагностики. Для повышения эффективности использования электроэнергии и поддержания непрерывного режима работы в системе телекоммуникаций работы нефтяных качалок скорость регулируемого автоматизированного электропривода СКН задается так, чтобы обеспечить постоянство производительности глубинного насоса или давления на его приеме [1].

Указанные параметры обычно контролируются с помощью динамограммы, представляющей собой зависимость нагрузки на полированный шток от его положения. Получение динамограммы связано с применением специализированных датчиков для контроля перемещения и усилия. В докладе изложена методика контроля СКН с использованием ваттметрограммы, представленной в виде замеров активной мощности, потребляемой двигателем в течение цикла качания. При этом достаточен контроль только электрических величин: мгновенных значений тока и напряжения. Необходимые для этого датчики тока и напряжения, размещенные в станции управления СКН или в комплектной трансформаторной подстанции, питающей электропривод скважины, хорошо защищены от воздействия климатических факторов и механических повреждений при работах по обслуживанию добычного оборудования. Поскольку для скважины с динамограммой параллелограммного типа между динамограммой и ваттметрограммой существует однозначная связь [2], последняя может быть получена из первой.

Ваттметрограмма, используемая в [1] для контроля работы СКН, состоит из последовательности замеров потребляемой автоматизированным приводом станка – качалки нефти активной мощности. Результаты замеров передаются по линии электропередачи ЛЭП на компьютер диспетчерского пункта цеха добычи нефти и газа (ЦДНГ), здесь они обрабатываются. По результатам обработки ваттметрограммы вырабатывается задание, которое по ЛЭП, через станцию управления выдается на электропривод. Структурная схема контроля работы СКН показана на рисунке 1.

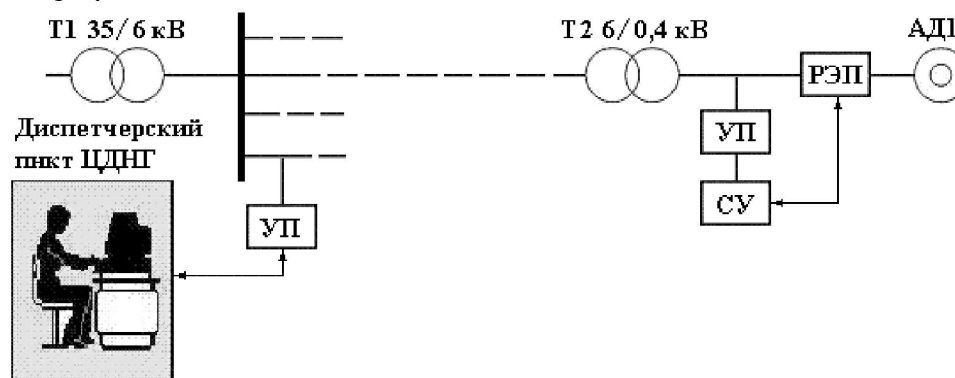


Рисунок 1 – Структурная схема контроля работы СКН: УП – устройство присоединения, СУ – станция управления, РЭП – регулируемый электропривод, АД – асинхронный электродвигатель

Вследствие неточностей самих замеров и погрешностей дискретизации, данные, из которых состоит ваттметрограмма, имеют погрешности. Для уменьшения влияния погрешностей проводится сглаживание отсчетов с использованием метода скользящего среднего или алгоритма медианной фильтрации. Оба метода основаны на преобразовании входной последовательности отсчетов $\mathbf{X} = (x_0, x_1, \dots, x_{K-1})$, где K – количество замеров, в выходную последовательность $\mathbf{Y} = f(x_0, x_1, \dots, x_{K-1})$. Аналитическое описание зависимости мощности от положения полированного штока в [2] получено путем интерполяции сглаженных данных кубическими сплайнами. С целью снижения полного среднего квадрата ошибки можно использовать сглаживающие сплайны, которые возникают при решении задачи минимизации функционала вида [3]:

$$R(f, \lambda) = \sum_{i=1}^K (y_i - f(x_i))^2 + \lambda \int [f'''(t)]^2 dt, \quad (1)$$

где λ – фиксированный параметр сглаживания, y_i – замеры ваттметрограммы.

Первое слагаемое отвечает за близость функции к данным, а второе – за кривизну функции. Если $\lambda = 0$, то f является интерполирующей функцией; при $\lambda = \infty$ получаем линейную регрессионную модель. На практике параметр сглаживания подбирают в пределах $\lambda \in (0,2]$ экспериментальным путем.

Решением задачи минимизации является натуральный кубический сплайн с узлами в точках $x_i, i = 1, \dots, K$, который можем записать в виде:

$$f(x) = \sum_{j=1}^K N_j(x) \theta_j, \quad (2)$$

где $N_j(x)$ - базисные функции для натуральных кубических сплайнов, θ_j - коэффициенты базисной функции.

Подставим формулу (2) в выражение (1) для $R(f, \lambda)$ и получим:

$$R(f, \lambda) = \sum_{k=1}^K \left(y_k - \sum_{j=1}^K N_{k,j} \theta_j \right)^2 + \lambda \sum_{i,j=1}^K \theta_j \{ \Omega_N \}_{i,j} \theta_j, \quad (3)$$

где $\mathbf{N} = (N_{ji})$ и $\Omega = (\Omega_{jk} = \int N_j''(t) N_k''(t) dt)$; \mathbf{y} - вектор значений функции в узлах.

Затем, взяв производную функционала $R(f, \lambda)$ по $\theta_j, j = 1, \dots, K$, приравняв ее к нулю и преобразовав, получим оценку для θ :

$$\hat{\theta} = (\mathbf{N}^T \mathbf{N} + \lambda \Omega_N)^{-1} \mathbf{N}^T \mathbf{y}. \quad (4)$$

Полученная оценка является выражением, при котором достигается минимум функционала (3). В свою очередь, натуральный кубический сплайн, на котором достигается минимум функционала $R(f, \lambda)$, имеет вид:

$$\hat{f}(x) = \sum_{j=1}^K N_j(x) \hat{\theta}_j, \quad (5)$$

где $N_{i1} = 1, N_{i2} = x_i$.

Последующие элементы $N_{ij}, i=1, \dots, N, j=3, \dots, N$, вычисляются так:

$$N_{ij} = \frac{(x_i - x_{j-2})_+^3 - (x_i - x_N)_+^3}{(x_N - x_{j-2})} - \frac{(x_i - x_{N-1})_+^3 - (x_i - x_N)_+^3}{(x_N - x_{N-1})}.$$

Выражение для вычисления элементов Ω_N получено путем интегрирования $\Omega_{jk} = \int N_j''(t) N_k''(t) dt$.

Далее, транспонировав матрицу \mathbf{N} и вычислив $\mathbf{N}^T \mathbf{N}$, получаем искомый вектор $\hat{\theta}$. На рисунке 2 проиллюстрированы результаты сглаживания исходных данных.

Сглаженные данные ваттметрограммы используются для получения динамограммы, определения из нее производительности глубинного насоса или давления на приеме насоса и на их основе – задания для регулируемого электропривода, обеспечивающего эффективное использование электроэнергии и поддержание непрерывного режима работы СКН.

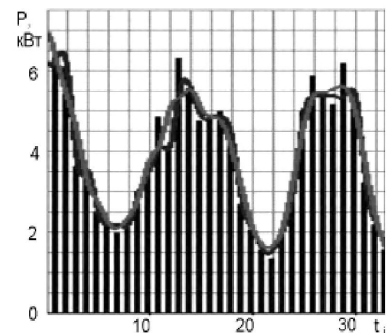


Рисунок 2 - Сглаживание исходных данных.

Литература

1. Средства автоматизации технологических установок нефтегазодобывающих предприятий. / В.Я. Чаронов, М.И. Альтшуллер, В.С. Генин, А.Г. Иванов, и др.; под редакцией Генина В.С. – Чебоксары: изд-во «Офисная полиграфия», 2002. – 272 с., ил. ISBN 5-76770470-1.
2. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Автоматический контроль и диагностика скважинных штанговых насосных установок. М.: Недра, 1988.- 232 с.
3. R. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction.- New York, Springer-Verlag, 2001 [url = <http://www-stat.stanford.edu/~tibs/ElemStatLearn/>].