

УДК 622.276.05-52

ББК ИЗ361-5-053

В.С. ГЕНИН, Л.Н. ВАСИЛЬЕВА, Н.Н. ИВАНОВА,
Э.М. АРТЫКАЕВА, Т.В. ДМИТРИЕВА**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ
РАБОТЫ СТАНКА-КАЧАЛКИ НЕФТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SCADA-СИСТЕМЫ TRACE MODE**

Ключевые слова: SCADA-система, станок-качалка нефти, ваттметрграмма, фильтрация данных, B-сплайны.

Вопросы автоматизации технологических процессов актуальны для всех отраслей промышленности. В статье рассматриваются вопросы автоматизации контроля работы широко используемых в нефтедобыче станков-качалок нефти с использованием SCADA-системы TRACE MODE компании AdAstrA Research Group.

Для контроля работы штангового глубинного насоса станка-качалки нефти в мировой практике широко распространено использование динамограмм. Технически проще осуществить более обобщенный контроль работы станка-качалки нефти с помощью ваттметрограммы, которая отображает зависимость потребляемой приводом активной мощности от времени или положения полированного штока. Результаты замеров мощности передаются по каналам связи на компьютер SCADA-системы. Далее выполняются предварительная обработка результатов контроля ваттметрограммы и расчет параметров, характеризующих работу станка-качалки нефти.

На этапе предварительной обработки данных выполняется фильтрация от помех с использованием инструментальных средств TRACE MODE, обеспечивающих обмен данными с пакетами MS Excel, MS Access, MS Visual Basic. Рассматривается использование для этого методов скользящего среднего, медианной фильтрации, а также B-сплайнов. Показано, что кубические B-сплайны являются эффективным методом аналитического описания и графического представления экспериментальных данных, снижающим полный средний квадрат ошибки. Использование сплайнов в сравнении с аппроксимацией многочленами дает несколько лучшее приближение. Результаты фильтрации и расчетов средствами SCADA-системы отображаются на мониторе диспетчера, архивируются, документируются и т.д. Таким образом, связанные программные продукты SCADA TRACE MODE и MS позволяют эффективно реализовать сложные алгоритмы обработки данных.

Вопросы автоматизации являются актуальными для всех отраслей промышленности. В настоящее время для автоматизации промышленных предприятий, объектов энергетики и транспорта, различных производственных процессов и т.д. все шире применяются SCADA-системы. Ниже рассматриваются некоторые возможности автоматизации первичной обработки данных в SCADA-системе TRACE MODE компании AdAstrA Research Group.

SCADA TRACE MODE предназначена для автоматизации промышленных предприятий, энергетических объектов, интеллектуальных зданий, объектов транспорта, систем энергоучета и т.д. [18]. TRACE MODE включена в реестр отечественного программного обеспечения (приказ Минкомсвязи РФ от 7 декабря 2017 г. № 680, Прил. 1, пп. 151, реестровый номер 4119) и является одной из наиболее покупаемых в России. Программный комплекс SCADA TRACE MODE позволяет создавать разные по масштабу системы автоматизации – от автономно работающих управляющих контроллеров и рабочих мест операторов (АРМ)

до территориально распределенных систем управления, включающих десятки контроллеров и АРМ.

В составе SCADA TRACE MODE имеются наборы исполнительных модулей. Исполнительным модулем SCADA/HMI системы TRACE MODE является монитор реального времени (МРВ), который включает в себя графический клиент и сервер текущего времени, позволяющий запускать разработанные проекты и поддерживать их функционирование. TRACE MODE имеет встроенную поддержку контроллеров, программируемых в соответствии с международным стандартом IEC 61131-3, а также российских контроллеров Ремиконт, Ломиконт, Ш711, КРУИЗ, МФК, ЭК2000 и др.

В TRACE MODE включены библиотека драйверов для контроллеров от Rockwell Automation, Siemens, Schneider Electric, Moeller, Fisher-Rosemount и др., средства программирования на базе ПК для контроллеров MIC2000, ROBO, Lagoon, TREI и др., а также встроенная система из более чем 150 алгоритмов системы управления, включая алгоритмы фильтрации, PI и PID управление, нечеткое и позиционное управление, преобразование PWM и др.

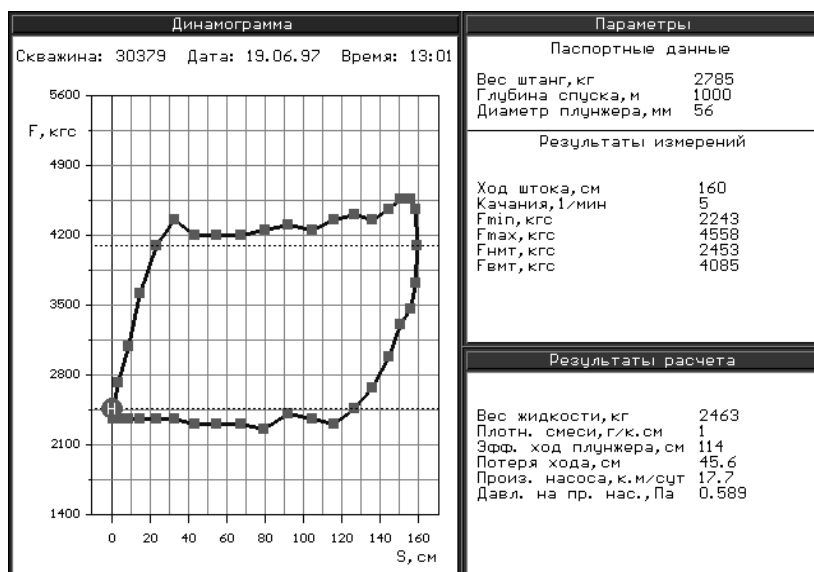
Программный комплекс SCADA TRACE MODE содержит инструментальные средства и библиотеки для создания мультиструктурного графического интерфейса проекта автоматизированной системы управления (АСУ). С его помощью пользователи могут настраивать связи с такими приложениями, как MS Excel, MS Access, MSSQL Server, Oracle, и другими Windows-приложениями по протоколам TCP/IP, IPX/SPX, DCOM, DDE/NetDDE, OPC. Пользователи также могут разрабатывать собственные алгоритмы на языке Visual Basic (VB) и встраивать их в TRACE MODE. Имеется возможность разрабатывать графические экраны, на которых могут отображаться различные взаимосвязанные технологические и динамические объекты (гистограммы, тренды, бегущие дорожки и т.д.).

В качестве примера рассмотрим возможность контроля работы станков-качалок нефти (СКН), широко применяющихся при эксплуатации нефтяных месторождений, с использованием ваттметрограммы в SCADA-системе TRACE MODE.

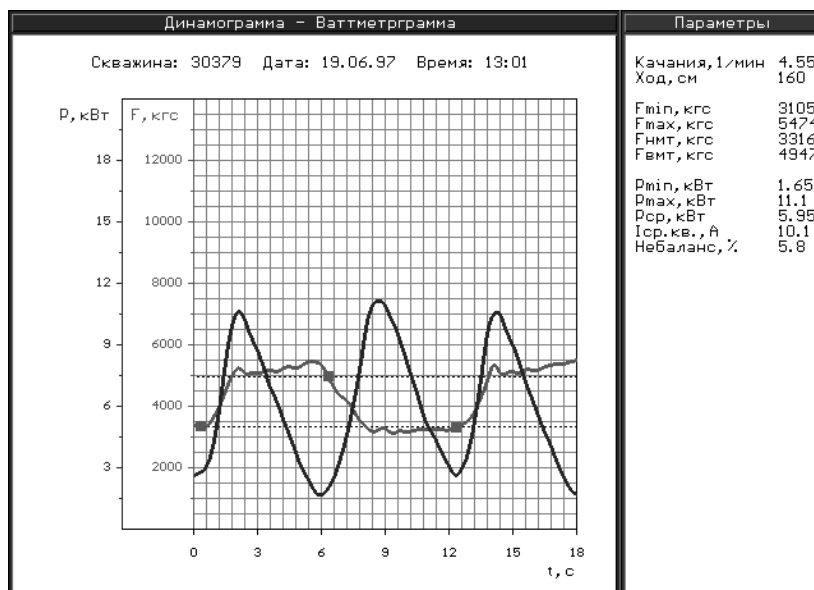
В мировой практике для контроля работы штангового глубинного насоса станка-качалки нефти широко распространено использование динамограммы, представляющей собой зависимость нагрузки на полированный шток в функции его положения [1]. Динамометрирование позволяет с высокой достоверностью контролировать работу штангового глубинного насоса и выявлять неисправности отдельных узлов подземного оборудования: негерметичность приемного и нагнетательного клапанов насоса, прихват плунжера, обрыв штанги, негерметичность насосно-компрессорных труб и др. Для осуществления динамометрирования необходимы датчик усилия на штоке СКН и датчик положения штока. Установка и эксплуатация этих датчиков достаточно трудоемки.

Ваттметрограмма представляет собой зависимость потребляемой приводом активной мощности от времени или от положения полированного штока при работе СКН. Если цель динамометрирования заключается прежде всего в контроле работы штангового глубинного насоса и отдельных узлов подземного

оборудования, то ваттметрограмма позволяет с существенно меньшими затратами контролировать работу СКН в целом [3, 6, 9, 11, 14]. При этом для получения ваттметрограммы достаточен контроль только электрических величин: мгновенных значений тока и напряжения с вычислением активной мощности. Вид динамограммы СКН и соответствующей ей ваттметрограммы показаны на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Динамограмма СКН (а) и наложение на нее соответствующей ей ваттметрограммы (б)

Данные ваттметрограммы в виде последовательности замеров потребляемой приводом СКН активной мощности в течение цикла качания головки балансира СКН, получаемых с помощью датчиков, передаются по каналам связи на компьютеры SCADA-системы. Полученные данные предварительно обрабатываются, например, на предмет фильтрации от помех, затем рассчитываются показатели, характеризующие работу СКН. Ваттметрограмма и сведения о функционировании объекта управления могут быть отображены на экране диспетчера.

Математическую обработку последовательности замеров ваттметрограммы можно выполнить, в частности, в MS Excel. Для передачи данных между программными приложениями следует организовать запрос реальных значений каналов узла проекта TRACE MODE приложением MS Excel. Для этого в соответствии с [19, 20] в проекте TRACE MODE создается новый узел с компонентом «Write_to_Excel», в разделе «Администратора ODBC» организовывается «Пользовательский DSN», настраивается строка подключения и т.д.

Для реализации непрерывных записей данных в MS Excel в группе «Каналы» создается новый компонент «Программа» с аргументом «выходной», привязанный к входному значению канала «Write_to_Excel». Программу можно оформить на встроенном в TRACE MODE языке ST.

Для проверки работоспособности запроса необходимо убедиться, что значения в таблице MS Excel изменяются вместе с соответствующими значениями используемого узла.

Фильтрацию исходных данных можно производить разными способами, например с помощью метода скользящего среднего («осреднения») или медианной фильтрации [12, 13]. Пример сглаживания исходных данных реальной ваттметрограммы СКН этими методами показаны на рис. 2. Данные методы хорошо справляются с выбросами в исходной последовательности, но при этом исчезают детали обрабатываемой ваттметрограммы.

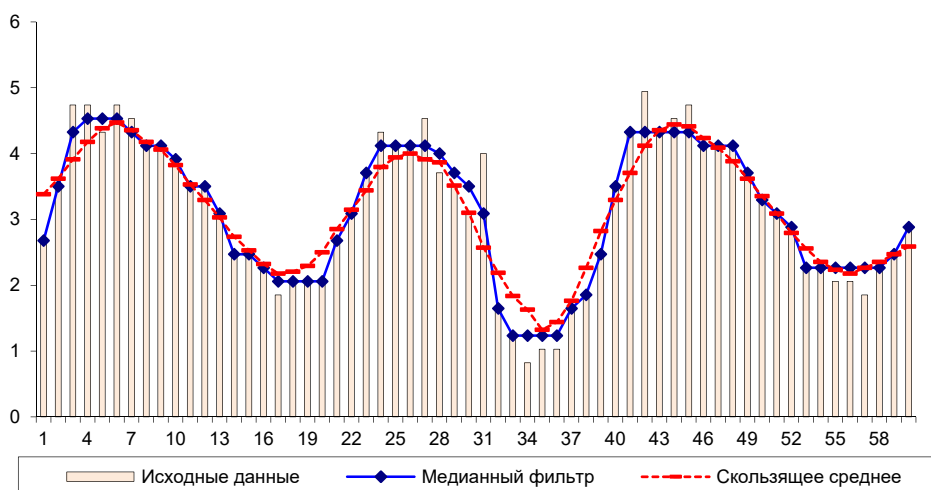


Рис. 2. Реальная ваттметрограмма СКН и результаты сглаживания методами скользящего среднего и медианной фильтрации

Эффективным методом аналитического описания и графического представления экспериментальных данных, снижающим полный средний квадрат ошибки, является построение на основе исходных данных кубических сплайнов, проходящих вблизи заданных точек [15, 16]. Использование сплайнов в сравнении с аппроксимацией многочленами дает лучшее приближение. При этом предполагается, что искомая функция непрерывная и гладкая, т.е. у нее существуют в рассматриваемой области производные необходимого порядка.

Сплайном порядка M с узлами соединения $x_1 < x_2 < \dots < x_K$ называется функция $y(x)$, определенная на отрезке $[x_1, x_K]$, имеющая непрерывные производные до $(M-2)$ порядка включительно и являющаяся на каждом отрезке $[x_{i-1}, x_i]$ многочленом степени $M-1$.

Кубический сплайн с $K-2$ внутренними узлами, описанный через последовательность усеченных степенных функций, имеет вид [7, 8]

$$f(x) = \sum_{j=0}^3 \beta_j x^j + \sum_{k=1}^K \theta_k (x - \xi_k)_+^3,$$

$$(x - \xi_k)_+^3 = \begin{cases} (x - \xi_k)^3, & x > \xi_k, \\ 0, & x \leq \xi_k, \end{cases}$$

где β_j, θ_k – действительные числа; ξ_k – узлы функции на рассматриваемом промежутке.

Для построения системы базисных функций удобнее использовать натуральный сплайн, являющийся линейной функцией за граничными узлами x_1 и x_K , при этом $f''(x_1) = f''(x_K) = 0$ [15, 16]. Базис для натурального кубического сплайна имеет вид

$$N_1(x) = 1, N_2(x) = x, N_{k+2}(x) = d_k(x) - d_{k-1}(x),$$

где

$$d_k(x) = \frac{[(x - \xi_k)_+^3 - (x - \xi_K)_+^3]}{(\xi_K - \xi_k)}, k = 1, \dots, K - 2.$$

Представление сплайна через базисные функции в отличие от кусочно-многочленного приводит к большему количеству арифметических операций, но уменьшает необходимый объем информации о многочленах. В вычислительной практике широкое распространение получили B -сплайны (bell- колокол). Они используются как для интерполяции функций, так и в качестве базисных функций при построении методов типа конечных элементов.

Сглаживающие сплайны находятся при решении задачи минимизации функционала, имеющего вид [15, 16]:

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

где λ – фиксированный параметр сглаживания; y_i – заданные величины.

Первое слагаемое отвечает за близость функции к данным, а второе – за кривизну функции. Если $\lambda = 0$, то f может быть любой интерполирующей функцией;

при $\lambda = \infty$ получаем линейную регрессионную модель. На практике параметр сглаживания подбирают экспериментальным путем в пределах $\lambda \in (0, 2]$.

Решением задачи минимизации (1) будет натуральный кубический сплайн с узлами в точках $x_i, i = 1, \dots, K$, который можно записать в виде

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

где $N_j(x)$ – базисные функции для натуральных кубических сплайнов; θ_j ($j = 1, \dots, K$) – коэффициенты базисной функции.

Результат содержит оценки, которые не являются оценками метода наименьших квадратов, имеют смещение, но оказываются более устойчивыми [15, 16]. Они приводят к более низкому значению полного среднего квадрата ошибки, поскольку вызванное ими уменьшение дисперсии ошибок будет превосходить то, что необходимо для компенсации введенного смещения.

При применении сглаживающего сплайна возникает проблема, связанная с выбором значения сглаживающего параметра λ . Предпочтительным оказывается выбор этого параметра с помощью метода перекрестной проверки.

Перекрестная проверка – это статистический метод для оценки и сравнения обучающего алгоритма путем разделения данных на части: данные для обучения алгоритма и данные для тестирования алгоритма. Чаще применяют разбиение данных на k частей. Затем каждая из k частей по очереди используется для тестирования, а оставшиеся $k-1$ частей каждый раз применяются для обучения алгоритма.

Несмотря на то, что рассматриваемый метод сглаживания появился относительно недавно, он находит все более широкое применение, приводятся сведения о пакетах, позволяющих автоматизировать реализацию метода [17].

На рис. 3 в качестве иллюстрации показаны результаты сглаживания практической ваттметрограммы СКН с использованием сглаживающих B -сплайнов с различными значениями коэффициента λ [2, 3, 5]. При использовании сглаживающих сплайнов применяются смещенные оценки, но это обеспечивает более низкое значение полного среднего квадрата ошибки, так как уменьшение дисперсии ошибок компенсирует вводимое смещение.

По данным сглаженной ваттметрограммы путем анализа значений минимумов и максимумов активной мощности определяются:

– минимальное, максимальное и среднее за время цикла качания головки балансира значения потребляемой приводом СКН активной мощности

$$P_{\min} = \min_{1 \leq i \leq T-1} \{P_i\}, \quad P_{\max} = \max_{1 \leq i \leq T-1} \{P_i\}, \quad P_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{T-1} P_i;$$

– небаланс СКН, характеризующий разницу в потребляемой приводом СКН энергии при движении штока вверх и вниз, в процентах

$$D = \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} \times 100,$$

где S_1 и S_2 – площади большего и меньшего пиков мощности в течение периода, соответственно.

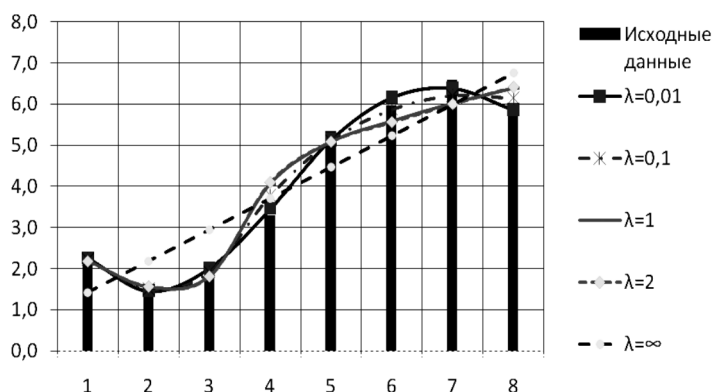


Рис. 3. Сглаживание исходных данных с применением сглаживающих сплайнов с различными значениями параметра λ

Последовательность отсчетов потребляемой приводом СКН мощности в установившемся режиме представляет собой периодическую функцию. Известно, что любую периодическую функцию, имеющую в пределах периода конечное число точек разрыва 1-го рода, можно представить в виде суммы гармонических функций кратных периодов. Период последовательности отсчетов определяется путем построения моделей вида [10]:

$$y_{kt} = a_0 + a_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{N}\right) + b_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{N}\right),$$

где N – длина последовательности отсчетов; $1 \leq k \leq N/2$; $0 \leq t \leq N - 1$.

На основе вычисленных коэффициентов a_0 , a_k и b_k ($1 \leq k \leq N/2$) может быть получен набор гармоник с периодами N , $N/2$, $N/3$, ..., 2 и амплитудами $A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$. Поскольку гармоники с большей амплитудой оказывают большее влияние на течение процесса, в качестве периода исходной последовательности отсчетов (ваттметрограммы) используется значение T , при котором амплитуда A_k максимальна.

Так как, по данным [10], метод работает корректно, если последовательность отсчетов длины N содержит, по крайней мере, два периода, т.е. $N \geq 2T$, число качаний головки балансира в минуту определялось по формуле

$$N_{\text{кач}} = \frac{60}{T \cdot \text{step}},$$

где T – период последовательности отсчетов; step – шаг выборки отсчетов, с.

Результаты расчетов, выполненных в MS Excel, передаются в TRACE MODE путем выполнения запроса на чтение «Read_to_Excel» с использованием ранее созданного DSN.

Для отображения данных в корневой группе применяемого узла создается графический экран с аргументом двунаправленного типа «QUERY», связанный с входным значением канала, который вызывал запрос на чтение данных из электронной таблицы MS Excel.

Графическое отображение данных в TRACE MODE выполняется с помощью SQL-запроса. Для этого создаются каналы Call с типом вызова TVC, а также дополнительный канал с типом вызова SQL Query, аргументы которого привязаны к атрибутам 45 (время изменения) и 142 (ARG02) соответствующих каналов Call.TVC. Далее в корневой группе узла RTM создается экран с аргументом двунаправленного типа «QUERY», связанный с входным значением канала, который вызывает запрос на чтение данных из электронной таблицы. Пример отображения графического экрана TRACE MODE показан на рис. 4.

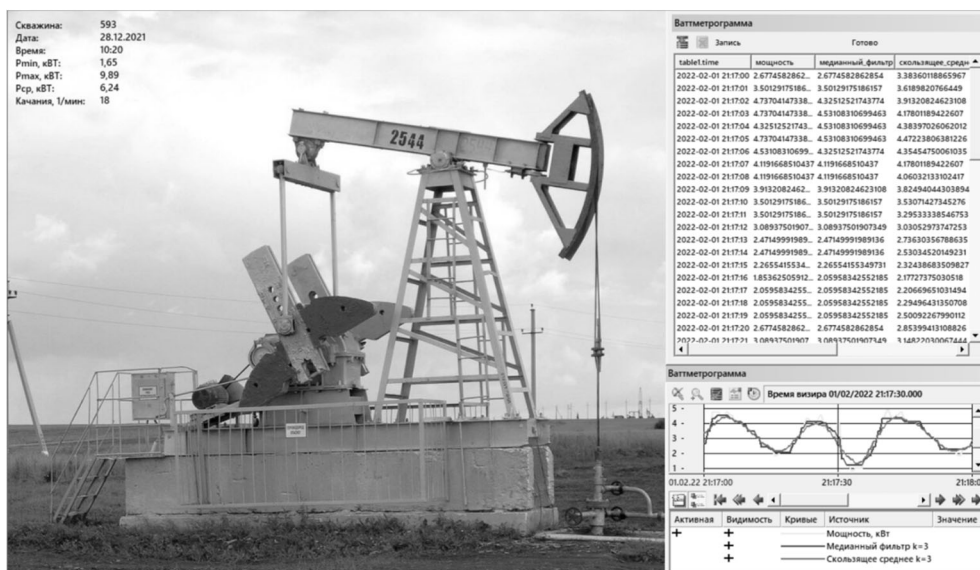


Рис. 4. Пример отображения результатов контроля СКН на экране TRACE MODE

На экране отображаются исходные данные ваттметрограммы, результаты фильтрации, а также результаты расчета параметров, характеризующих работу СКН: минимальной, максимальной и средней потребляемой мощности, а также скорости качания головки балансира. Результаты контроля СКН в SCADA TRACE MODE могут быть документироваться и архивироваться, а также использоваться, например, в подсистеме алармов.

Рассмотренный пример показывает эффективность совместного использования связанных программных продуктов SCADA TRACE MODE и MS Excel, MS Access, MS Visual Basic при реализации сложных алгоритмов математической обработки данных.

Выводы. Рассмотрен пример автоматизации контроля работы станка-качалки нефти с применением отечественной SCADA-системы TRACE MODE. Предварительная обработка данных ваттметрографирования СКН выполнена с использованием инструментальных средств TRACE MODE, обеспечивающих обмен данными с MS Excel, MS Access, MS Visual Basic.

Показано, что кубические В-сплайны, используемые для сглаживания исходных данных, являются эффективным методом аналитического описания и графического представления экспериментальных данных, снижающим полный средний квадрат ошибки. Использование сплайнов в сравнении с аппроксимацией многочленами дает лучшее приближение.

Показано, что использование связанных программных продуктов SCADA TRACE MODE и MS позволяет эффективно реализовать сложные алгоритмы обработки данных.

Литература

1. Белов И.Г. Исследование работы глубинных насосов динамографом. М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1960. 428 с.
2. Генин В.С. Использование сглаживающих сплайнов в системе обработки информации при контроле и диагностике работы станков-качалок // Вестник Московского энергетического института. 2008. № 3. С. 68–72.
3. Генин В.С., Ерохин Е.Ю., Чаронов В.Я. Диагностика штангового глубинного насоса с помощью ваттметраграммы // Труды академии электротехнических наук Чувашской Республики. 2000. № 1. С. 42–48.
4. Генин В.С., Рацепкина Н.А., Дмитриева Т.В. Использование сглаживающих сплайнов для обработки экспериментальных данных // Математические модели и их приложения: сб. науч. тр. Вып. 10. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2008. С. 139–146.
5. Генин В.С., Рацепкина Н.А., Дмитриева Т.В., Хрусталева А.Ю. Смещенные оценки в практике обработки экспериментальных данных // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. С. 96–98.
6. Зюзев А.М., Бубнов М.В. Диагностика уравновешенности штанговой глубинной насосной установки по ваттметраграмме // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 4. С. 178–187.
7. Лагутин М.Б. Наглядная математическая статистика: в 2 кн. М.: ООО «Фирма «П-центр», 2003.
8. Лобанов А.И., Петров И.Б. Лекции по вычислительной математике. М.: ИНТУИТ, 2006. 528 с.
9. Манахов В.А., Цветков А.Н. Определение состояния и функционирования оборудования штанговых скважинных насосных установок в процессе эксплуатации по параметрам ваттметраграммы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 3. С. 127–139.
10. Отнес Р.К., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов: Основные методы / пер. с англ. В.И. Хохлова. М.: Мир, 1982. 428 с.
11. Средства автоматизации технологических установок нефтегазодобывающих предприятий / В.Я. Чаронов, М.И. Альтишуллер, В.С. Генин, А.Г. Иванов и др.; под ред. В.С. Генина. Чебоксары: Офисная полиграфия, 2002. 272 с.
12. Турчак Л.И. Основы численных методов. М.: Наука, 1987. 318 с.
13. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений / пер. с англ. А.Ф. Кушнира и др. М.: Мир, 1981. 160 с.
14. Яшин А.Н., Хакимьянов М.И. Уравновешенность установок скважинных штанговых насосов на основе анализа ваттметраграмм // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 8. С. 36–44.
15. Hastie R., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. New York, Springer-Verlag, 2001.
16. James G., Witten D., Hastie R., Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. New York, Springer, 2009.
17. Refaellzadeh P., Tang L., Liu H. Cross-Validation. Encyclopedia of Database Systems. Springer, Boston, MA, 2009.

18. SCADA TRACE MODE [Электронный ресурс]. URL: <http://www.adastra.ru>.
19. TRACE MODE 6. Руководство пользователя. Интегрированная SCADA/HMI-SOFTLOGIC-MES-EAM-HRM-система для разработки АСУ ТП, АСКУЭ и систем управления производством. 11-е изд. М.: AdAstrA Research Group Ltd., 2008. 588 с.
20. TRACEMODE 6 & T-FACTORY. SOFTLOGICSCADA/HMIMESEAMHRM. Интегрированная платформа для управления производством. Быстрый старт. Руководство пользователя. М.: AdAstrA Research Group Ltd., 2010. 181 с.

ГЕНИН ВАЛЕРИЙ СЕМЕНОВИЧ – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и управления в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (v.s.genin@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9086-0906>).

ВАСИЛЬЕВА ЛИДИЯ НИКОЛАЕВНА – кандидат педагогических наук, доцент кафедры автоматизации и управления в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (oln2404@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2809-9044>).

ИВАНОВА НАДЕЖДА НИКОЛАЕВНА – кандидат технических наук, доцент кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (niva_mail@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7130-8588>).

АРТЫКАЕВА ЭЛЬМИРА МИДХАТОВНА – кандидат технических наук, доцент кафедры электро- и теплоэнергетики, Альметьевский государственный нефтяной институт, Россия, Альметьевск (85elmira@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3336-9579>).

ДМИТРИЕВА ТАТЬЯНА ВАЛЕРИЕВНА – Doctor of Philosophy in Mathematical Sciences, статистик, Advocate Aurora Health, США, Даунерс-Гроув (tatiana.dmitrieva@aah.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2765-5499>).

Valeriy S. GENIN, Lidia N. VASILEVA, Nadezhda N. IVANOVA,
Elmira M. ARTYKAEVA, Tatiana V. DMITRIEVA
AUTOMATION OF CONTROL OF ROOM DEEP OIL PUMP
USING TRACE MODE SCADA SYSTEMS

Key words: SCADA system, oil pumping machine, wattmetergram, data filtering, B-splines.

The issues of automation of technological processes are relevant for all industries. The article discusses the issues of automating the control of the operation of oil pumping units widely used in oil production using the TRACE MODE SCADA system from AdAstrA Research Group.

To control the operation of a sucker rod pump of an oil pumping unit, the use of dynamometers is widespread in world practice. Technically, it is easier to carry out a more generalized control of the operation of an oil pumping unit using a wattmetergram, which displays the dependence of the active power consumed by the drive on time or the position of the polished rod. The results of power measurements are transmitted via communication channels to the computer of the SCADA system. Further, preliminary processing of the results of the control of the wattmeter diagram and the calculation of parameters characterizing the operation of the oil pumping unit are performed.

At the stage of data preprocessing, noise filtering is performed using TRACE MODE tools that provide data exchange with MS Excel, MS Access, MS Visual Basic packages. The use of moving average, median filtering, and B-splines methods for this is considered. It is shown that cubic B-splines are an effective method of analytical description and graphical representation of experimental data, reducing the total mean square of the error. The use of splines in comparison with the polynomial approximation gives a slightly better approximation. The results of filtering and calculations by means of the SCADA system are displayed on the dispatcher's monitor, archived, documented, etc. Thus, the related software products SCADA TRACE MODE and MS allow you to effectively implement complex data processing algorithms.

References

1. Belov I.G. *Issledovanie raboty glubinnyykh nasosov dinamografom* [Study of the operation of deep pumps by a dynamographer]. Moscow, State Scientific and Technical Publishing House of Oil and Mining and Fuel Literature, 1960, 428 p.
2. Genin V.S. *Ispol'zovanie sglazhivayushchikh splainov v sisteme obrabotki informatsii pri kontrole i diagnostike raboty stankov-kachalok* [The use of smoothing splines in the information processing system in the control and diagnostics of the operation of rocking machines]. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta*, 2008, no. 3, pp. 68–72.
3. Genin V.S., Erokhin E.Yu., Charonov V.Ya. *Diagnostika shtangovogo glubinnogo nasosa c pomoshch'yu vattmetrogrammy* [Diagnostics of the rod depth pump with a wattmegram]. *Trudy akademii elektrotekhnicheskikh nauk Chuvashskoi Respubliki*, 2000, no. 1, pp. 42–48.
4. Genin V.S., Rashchepkina N.A., Dmitrieva T.V. *Ispol'zovanie sglazhivayushchikh splainov dlya obrabotki eksperimental'nykh dannykh* [Using anti-aliasing splines to process experimental data]. In: *Matematicheskie modeli i ikh prilozheniya: sb. nauch. tr. Vyp. 10* [Mathematical models and their applications: collection of scientific works. Iss. 10]. Cheboksary, Chuvash University Publ., 2008, pp. 139–146.
5. Genin V.S., Rashchepkina N.A., Dmitrieva T.V., Khrustalev A.Yu. *Smeshchemye otsenki v praktike obrabotki eksperimental'nykh dannykh* [Biased estimates in experimental data processing]. In: *Dinamika nelineinykh diskretnyykh elektrotekhnicheskikh i elektronnykh sistem: materialy VIII Vseros. nauch.-tekhn. konf.* [Proc. of 8th Russ. Sci. Conf. «Dynamics of nonlinear discrete electrical and electronic systems»]. Cheboksary, Chuvash University Publ., 2009, pp. 96–98.
6. Zyuzev A.M., Bubnov M.V. *Diagnostika uravnoveshennosti shtangovoi glubinnoi nasosnoi ustanovki po vattmetrogramme* [Sucker-Rod Pumping Unit Balance Diagnostics by Wattmeter Card]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2019, vol. 330, no. 4, pp. 178–187.
7. Lagutin M.B. *Naglyadnaya matematicheskaya statistika: v 2 kn.* [Clear mathematical statistics. 2 books]. Moscow, 2003.
8. Lobanov A.I., Petrov I.B. *Lektsii po vychislitel'noi matematike* [Lectures on computational mathematics]. Moscow, INTUIT Publ., 2006, 528 p.
9. Manakhov V.A., Tsvetkov A.N. *Opreделение sostoyaniya i funktsionirovaniya oborudovaniya shtangovykh skvazhinnykh nasosnykh ustanovok v protsesse ekspluatatsii po parametram vattmetrogrammy* [Determination of the State and Functioning of the Equipment of Rod Well Pumping Units in the Operation Process by the Parameters of the Wattmetrogram]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*, 2021, vol. 23, no. 3, pp. 127–139.
10. Otnes R.K., Enochson L. *Applied time series analysis. Vol. 1. Basic techniques.* New Uork etc., 1978 (Russ. ed. *Prikladnoi analiz vremennykh ryadov: Osnovnye metody.* Moscow, Mir Publ., 1982, 428 p.).
11. Genin V.S., ed., Charonov V.Ya., Al'tshuller M.I., Genin V.S., Ivanov A.G. et al. *Sredstva avtomatizatsii tekhnologicheskikh ustanovok neftegazodobyvayushchikh predpriyatii* [Means of automation of technological installations of oil and gas producing enterprises]. Cheboksary, Ofisnaya poligrafiya Publ., 2002, 272 p.
12. Turchak L.I. *Osnovy chislennykh metodov* [Fundamentals of Numerical Methods]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 318 p.
13. Tukey J. *Exploratory data analysis.* Addison-Wesley Pub. Co., 1977 (Russ. ed.: *Analiz rezul'tatov nablyudenii.* Moscow, Mir Publ., 1981, 160 p.).
14. Yashin A.N., Khakim'yanov M.I. *Uravnoveshehnost' ustanovok skvazhinnykh shtangovykh nasosov na osnove analiza vattmetrogramm* [Balance of Sucker Rod Pump Units Based on Analysis of Wattmetrograms]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2021, vol. 332, no. 8, pp. 36–44.
15. Hastie R., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction.* New York, Springer-Verlag, 2001.
16. James G., Witten D., Hastie R., Tibshirani R. *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R.* New York, Springer, 2009.
17. Refaelzadeh P., Tang L., Liu H. *Cross-Validation.* Encyclopedia of Database Systems. Springer, Boston, MA, 2009.

18. SCADA TRACE MODE. Available at: <http://www.adastra.ru>.
19. *TRACE MODE 6. Rukovodstvo pol'zovatelya. Integrirovannaya SCADA/HMI-SOFTLOGIC-MES-EAM-HRM-sistema dlya razrabotki ASU TP, ASKUE i sistem upravleniya proizvodstvo. 11-e izd.* [TRACE MODE 6. User's guide. Integrated SCADA/HMI-SOFTLOGIC-MESEAM-HRM-system for the development of APCS, AMR and production control systems. 11th ed.]. Moscow, AdAstra Research Group Ltd., 2008, 588 p.
20. *TRACE MODE 6 & T-FACTORY. SOFTLOGIC SCADA/HMI MES EAM HRM. Integrirovannaya platforma dlya upravleniya proizvodstvom. Bystryi start. Rukovodstvo pol'zovatelya* [TRACE MODE 6 & T-FACTORY. SOFTLOGIC SCADA/HMI MES EAM HRM. Integrated platform for production management. Quick start. User's guide]. Moscow, AdAstra Research Group Ltd., 2010, 181 p.

VALERIY S. GENIN – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automation and Control in Technical Systems, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (v.s.genin@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9086-0906>).

LIDIA N.VASILEVA – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Automation and Control in Technical Systems, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (oln2404@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2809-9044>).

NADEZHDA N. IVANOVA – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mathematical and Hardware Support of Information Systems, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (niva_mail@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7130-8588>).

ELMIRA M. ARTYKAEVA – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electric and Thermal Power Engineering, Almet'yevsk State Oil Institute, Russia, Almet'yevsk (85elmira@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3336-9579>).

TATIANA V. DMITRIEVA – Doctor of Philosophy in Mathematical Sciences, Statistician, Advocate Aurora Health, USA, Downers Grove (tatiana.dmitrieva@aah.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2765-5499>).

Формат цитирования: Генин В.С., Васильева Л.Н., Иванова Н.Н., Артыкаева Э.М., Дмитриева Т.В. Автоматизация контроля работы станка-качалки нефти с использованием SCADA-системы TRACE MODE // Вестник Чувашского университета. – 2022. – № 1. – С. 53–64. DOI: 10.47026/1810-1909-2022-1-53-64.