

SCADA-СИСТЕМА В (OPEN, LIBRE) OFFICE CALC

А.О. Посевин (АО «ГНЦ НИИАР»)

Приводится описание мини-SCADA системы для работы в среде открытого ПО на базе ОС Linux. Разработанное ПО, доступное для бесплатного использования всеми желающими (в статье приводится ссылка для скачивания пакета), может быть использовано в учебном процессе по профильным специальностям, при проведении научно-исследовательских работ, а также для решения небольших практических задач диспетчеризации в системах, использующих протокол Modbus RTU¹.

Ключевые слова: промышленный протокол, SCADA-система, операционная система, свободно-распространяемое программное обеспечение, АСУТП.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время имеется весьма ограниченный выбор свободно распространяемого программного обеспечения (ПО) для автоматизации технологических процессов. Большинство из известных решений имеет ограничения для бесплатной/пробной версии или не работают под ОС Linux. Например, широко известный отечественный свободно распространяемый программный продукт RapidScada (<https://rapidscada.ru>) оснащен конфигуратором, который не работает под ОС Linux. Известная система OPENSCADA (<https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenSCADA>) с открытым исходным кодом — достаточно основательный инструмент в сфере АСУТП, однако многие ее функции сложны для освоения «с нуля» и избыточны при тестировании АСУ на начальной стадии развертывания.

В этих условиях возникла идея использовать в качестве SCADA-системы широко известный табличный процессор CALC [1] (<https://ru.libreoffice.org/>) (аналог MS EXCEL). В нем удобно делать различные преобразования входных величин (включая индикацию связанных формулами ячеек), отображать данные, добавлять

комментарии, работать с базой данных. Также CALC является практически неограниченной платформой для модернизации и оптимизации при использовании подпрограмм-макросов [2].

Представляемая SCADA-система позволяет максимально быстро автоматизировать практически любой технологический процесс. Причем для наблюдения состояния датчиков устройств и управления ими не требуется знания в области программирования макросов. Система может быть особенно полезна при апробировании работоспособности устройств экспериментальных стендов и технологических процессов (включая настройку преобразования входных величин в удобочитаемый вид и отработку аварийных режимов) в максимально кратчайшие сроки на начальной стадии развертывания.

Для управления оборудованием с персонального компьютера (ПК) необходимо выполнить всего два шага: 1) настроить MODBUS-устройства на единые параметры передачи данных (скорость передачи данных, число бит данных, стоповые биты, четность), назначить им уникальные адреса, согласно описанию протокола MODBUS²; 2) добавить строки с каналами (адресами устройств и их регистров) в таблицу ОО CALC.

¹ Автор выражает благодарность Салахову Рифату и Ахметову Рафу за постановку задачи автоматизации технологического процесса рафинации подсолнечного масла и предоставленное для тестирования оборудование

² https://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf

wao_3,3,3,592,592,452 rao_1,0,1 rhr_1,253,2 rdo_3,0,8 rao_3,0,9										8246+1+33+2+0=8289_ms (t_wlrl+t_r+t_form+t_w+t_delay)	Run	Stop	Присвоение нового значения		Интеграл	Тайминги	Log на лист «Лог»			
№ канала	On/off	Описание устройства		модуль	Модель модуля (описание)	Адрес регистра	Тип (R, AI, DO, AO, HR)	Текущее значение регистра, dec	Применение текущего значения регистра	Единица измерения (V, тА, %)	Установить приведенное значение регистра	Единица измерения (V, тА, %)	Установить значение регистра, дес.	Интеграл	Единица измерения (n, м3)	On/off	Лог значений регистра, чч:мм:сс	Интервал, с	Цикл, с	Примечание
1	on	Датчик температуры	1	NTC	0 AO R	296	29,6	°C	- °C	-	-	-	-	on	00:00:00	5	5000			
2	on	Датчик температуры	1	rs-485_id_num	253 HR RW	1	-	°C	- °C	-	-	-	-	on	01:45:51	-	-			
3	on	Датчик температуры	1	rs-485_baudrate	254 HR RW	3	-	kbps	- kbps	-	-	-	-	on	01:45:51	-	-			
4	on	RTU DO_reg0	3	STM32 №1	0 DO RW	0	-	V	- V	-	-	-	-	on	00:00:00	7	100			
5	on	RTU DO_reg1	3	STM32 №1	1 DO RW	1	-	V	- V	-	-	-	-	off	-	-	-			
6	on	RTU DO_reg2	3	STM32 №1	2 DO RW	1	-	V	- V	-	-	-	-	off	-	-	-			
7	on	RTU DO_reg3	3	STM32 №1	3 DO RW	0	-	V	- V	-	-	-	-	off	-	-	-			
8	on	RTU DO_reg4	3	STM32 №1	4 DO RW	0	-	V	- V	-	-	-	-	on	00:06:01	-	-			
9	on	RTU DO_reg5	3	STM32 №1	5 DO RW	1	-	V	- V	-	-	-	-	off	-	-	-			
10	on	RTU DO_reg6	3	STM32 №1	6 DO RW	0	-	V	- V	-	-	-	-	off	-	-	-			
11	on	RTU DO_reg7	3	STM32 №1	7 DO RW	0	-	V	- V	-	-	-	-	off	-	-	-			
12	on	RTU AO_reg0	3	STM32 №1	0 AO R	296	2,96	л/час	-	296	304,52	л	off	-	2	20				
13	on	RTU AO_reg1	3	STM32 №1	1 AO R	148	-	-	148	-	-	-	-	off	-	-	-			
14	on	RTU AO_reg2	3	STM32 №1	2 AO RW	592	-	-	296	592	-	-	-	off	-	-	-			
15	on	RTU AO_reg3	3	STM32 №1	3 AO RW	594	-	-	-	592	-	-	-	off	-	-	-			
16	on	RTU AO_reg4	3	STM32 №1	4 AO RW	596	-	-	-	592	-	-	-	off	-	-	-			
17	on	RTU AO_reg5	3	STM32 №1	5 AO RW	598	-	-	-	452	-	-	-	off	-	-	-			
18	on	RTU AO_reg6	3	STM32 №1	6 AO RW	600	-	-	-	-	-	-	-	off	-	-	-			
19	on	RTU AO_reg7	3	STM32 №1	7 AO RW	602	-	-	-	-	-	-	-	off	-	-	-			
20	on	RTU AO_reg8	3	STM32 №1	8 AO RW	6739	-	-	-	-	-	-	-	off	-	-	-			

Рис. 1. Список каналов со значениями регистров и их текущих значений в реальном времени

ОПИСАНИЕ МИНИ SCADA-СИСТЕМЫ

В SCADA-системе в качестве протокола передачи данных используется MODBUS – открытый и широко распространенный в промышленности интерфейс последовательной передачи данных стандарта RS-485. Для работы с протоколом в ОС Linux используется библиотека – libmodbus5 с открытым исходным кодом.

Устройства связи между оборудованием и ПК – модули RTU (remote terminal unit) обычно имеют поддержку MODBUS и RS-485 (например, модули ADAM-4017+, ADAM-4024, ПЛК и др.). При необходимости возможно расширение способа связи по TCP и др.

Работать непосредственно с портом для ввода/вывода по протоколу MODBUS из CALC оказалось проблематично, поэтому решено было создать отдельное приложение – modbus_srv. Оно осуществляет чтение/запись регистров MODBUS-устройств и использует специально разработанную для этого протокола библиотеку libmodbus³. Задание на чтение/запись регистров выдает CALC. Общение между modbus_srv и CALC осуществляется посредством чтения/записи файлов, расположенных в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) ПК (по умолчанию в папке /dev/shm).

Для ускорения процессов чтения/записи реализован следующий алгоритм: пока приложением modbus_srv осуществляется чтение(просп)/запись регистров, CALC считывает ранее выданные modbus_srv данные и производит их обработку и вывод на экран. Таким образом, ожидание данных для обработки сведено к минимуму. Так, типичное время одного полного цикла для пяти модулей ADAM с чтением всех регистров (~50 ед.) и записей части регистров составляло 300...500 мс.

Использование отдельного приложения для работы с портом оказалось удачным решением, поскольку было получено некое распараллеливание процессов (чтения/записи регистров устройств и их обработка с отображением на экране). Встроенный язык написания макросов ОО CALC не поддерживает параллельное выполнение потоков/процессов. При отсутствии связи с modbus_srv и/или модулями RTU на экран выводится сообщение.

Основная вкладка в CALC – таблица с каналами MODBUS RTU устройств, включающими регистры и их числовые значения (рис. 1). Подключенные по RS-485 MODBUS RTU добавляются простым путем – вставкой новой строки в таблицу. Строки (каналы) должны быть отсортированы по номеру устройства (MODBUS), типу регистра и его адресу.

При нажатии кнопки «Run» запускается непрерывный (до момента нажатия кнопки «Stop») процесс опроса регистров MODBUS-устройств.

В данном проекте СУБД не используются, однако есть возможность записи исторических данных на отдельном листе и в log-файл истории. При необходимости можно «присоединить» необходимую БД для хранения данных.

Основная таблица данных опроса регистров модулей содержит следующие столбцы (рис. 1). Порядковый «№ канала»⁴ присваивается для удобства идентификации. Имеется возможность включения/выключения опроса/записи регистра канала при помощи столбца «On/Off». Столбец «Описание устройства» необходим для описания связанного с регистром устройства (датчика, частотного преобразователя, реле и пр.). Графа «№ устройства/модуля по протоколу MODBUS» содержит номер, прописанный в устройстве/модуле согласно его инструкции. Далее приводится описание модели устройства/модуля (столбец «Модель модуля (описание)»). Данные по «адресу регистра», его типу (столбец «Тип (DI, DO, AI, AO, HR)»: AI-analog input, AO-analog output, DI-digital input, DO-digital output, HR-holding register – то же самое, что и АО) и возможности записи (столбец «Тип (R, RW)») – берутся из описания устройства/модуля. Графа «Текущее значение регистра, dec» – в зависимости от типа представляет собой однобитовое (0 и 1) или двухбайтовое число (0...65535). «Приведенное текущее значение регистра, dec» задается формулой и отображает «сырое» числовое значение регистра из предыдущего столбца в необходимых единицах измерения, например, вольт, ампер, градусов и т. п., которые указываются в следующем столбце («Единица измерения (V, тА, %, ...)»). Далее столбец «Установить приведенное значение регистра», предназначенный для установки

³<https://github.com/stephane/libmodbus/tree/master>

⁴ В кавычках указаны наименования столбцов в таблице CALC

(записи) значения регистра в приведенном (удобочитаемом) виде — при необходимости легко можно ввести ограничения (допустимый диапазон) вводимых данных встроенными средствами ОС CALC (Данные->Проверка). Затем следует столбец с указанием единицы измерения приведенных значений («Единица измерения (V, mA, %, ...)»). Значение регистра для записи в «сыром» виде представляет собой число, которое будет записано непосредственно в регистр. «Интеграл» (S) — для отображения интегральных (накопленных) значений — вычисляется на каждом цикле опроса регистров по формуле:

$$S=S_0+P\cdot t,$$

где S_0 — исходное значение интеграла, P — приведенное значение регистра в (необходимых) единицах (указаны в следующем столбце - «Единица измерения (л, м₃, ...)») в час (например, расход жидкости в л/ч), t — время опроса, ч. Следующий столбец «On/Off» предназначен для включения/выключения отображения «времени удержания значения регистра» — отображается время, прошедшее с момента изменения значения регистра.

Следующие два столбца («Интервал, с» и «Цикл, с») — параметры записи (логирования) исторических приведенных значений регистра и накопленных (интегральных) значений на отдельном листе с именем «log»: интервал записи и время цикла, по истечении которого начинается запись по кругу (число строк для записи будет ограничено значением «время цикла»/«интервал записи»).

Строки с выключенными регистрами/таймингами окрашиваются в серый цвет. Отключение неиспользуемых каналов приводит к увеличению скоростей опроса устройств, обработки и отображения данных.

Запись числовых значений в регистры может осуществляться автоматически — на основе данных числовых значений других регистров, что удобно, например, для автоматической регулировки скорости вращения двигателя насоса в зависимости от показания датчика расхода жидкости.

Данная система была успешно протестирована на ОС Linux Debian 12 и Astra Linux SE v.1.8 с использованием RTU модулей следующих моделей: ADAM (4017+, 4024, 4055), датчик температуры NT38D01, модуль собственной разработки на микроконтроллере STM32. Модули были настроены для работы по протоколу MODBUS, скорость передачи данных — 9600 кбит/с, биты данных — 8 бит, стоповые биты — 1, четность отсутствует.

Параметры программы расположены в отдельной вкладке «params» (рис. 2), которая содержит следующие строки: путь к файлу порта; скорость порта в кбит/с; время задержки между опросами модулей, мс; таймаут опроса

Serial_port=	/dev/ttyUSB0
Baud_rate=	9600
t задержки м/у опросами модулей adam [мс]=	0
Timeout опроса [с]=	2
Вести файл журнала [да, нет]=	нет
Папка для временных файлов=	/dev/shm/modbus_srv/
t задержки м/у опросами регистров модулей [мк]	20000
Путь к файлу modbus_srv=	/usr/bin/modbus_srv
Папка для log-файлов=	/dev/shm/modbus_srv/
Интервал записи log-файла [с]=	3

Рис. 2. Параметры во вкладке «params»

1,AO,0			3,AO,0		
03.03.2025 15:37:43	29,4	0	03.03.2025 15:39:15	2,94	304,50
03.03.2025 15:37:48	29,4	0	03.03.2025 15:39:19	2,95	304,50
03.03.2025 15:37:53	29,2	0	03.03.2025 15:39:21	2,94	304,50
03.03.2025 15:37:58	29,4	0	03.03.2025 15:39:23	2,93	304,50
03.03.2025 15:38:03	29,3	0	03.03.2025 15:39:27	2,92	304,51
03.03.2025 15:38:08	29,4	0	03.03.2025 15:39:29	2,95	304,51
03.03.2025 15:38:13	29,3	0	03.03.2025 15:39:31	2,96	304,51
03.03.2025 15:38:18	29,5	0	03.03.2025 15:39:35	2,95	304,51
03.03.2025 15:38:23	29,4	0			
03.03.2025 15:38:28	29	0			
03.03.2025 15:38:33	29,1	0			
03.03.2025 15:38:38	29,2	0			
03.03.2025 15:38:43	29,6	0			

Рис. 3. Запись числовых значений регистров на листе «log»

модулей, с (при превышении времени между запросом и ответом модуля ячейки с текущим значением регистра окрашиваются в красный цвет); необходимость ведения журнала (записи исторических данных в файл); путь для временных файлов (желательно указать /dev/shm/..., чтобы файловые операции производились только в ОЗУ); время задержки между опросами регистров модулей (по умолчанию — 20 мс, если ставить меньше, то модули могут не успевать отвечать на запросы — подбирается экспериментально); путь к файлу-приложению modbus_srv; папка для записи файлов журнала; интервал записи значений регистров в файл журнала.

Для наглядности выводятся строки запроса/записи данных регистров и времени выполнения каждого цикла чтения/записи/отображения регистров. Например, строка-запрос «wao,3,0,2,345,324 rao,1,0,1» (рис. 1) означает — произвести запись в устройство с адресом №3, в регистры AO(analog output) с начальным номером равным 0, число регистров — 2, значения для записи — 345 в регистр 0, 324 в регистр 1; затем произвести чтение из устройства №1, адрес регистра - 0, число регистров — 1.

Расшифровка строки с временем выполнения цикла (рис. 1 сверху): t_wfrf [мс] — время ожидания ответа от modbus_srv; t_r [мс] — время чтения и отображения данных, полученных от modbus_srv; t_form [мс] — время формирования нового запроса; t_w [мс] — время записи данных запроса для modbus_srv; t_delay [мс] — время задержки, заданное пользователем во вкладке «params».

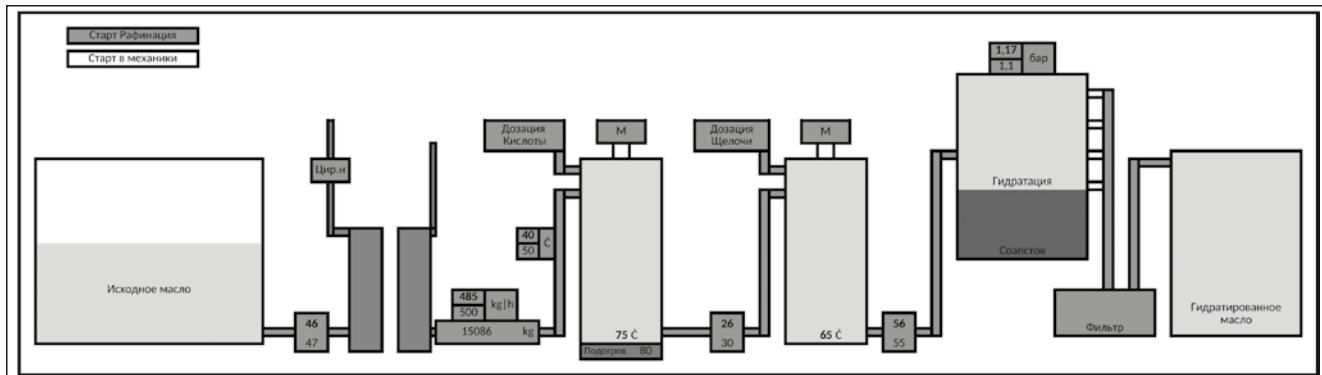


Рис. 4. Мнемосхема технологического процесса рафинации подсолнечного масла

Запись исторических данных. При указании значений записи исторических данных-логирования (интервал и цикл) отличных от нуля (или «-») в параметрах канала (рис. 1), на листе «log» будут записываться приведенные значения регистров и интегральные значения с указанием времени (рис. 3). Каждый канал занимает три столбца, в которые заносятся значения времени, приведенного значения регистра и его интегрального значения соответственно. В первой строке через запятую указаны номер модуля, тип регистра и его адрес.

На основе данных листа «log» возможно отслеживание изменения необходимого значения регистра на графике в реальном времени.

В текстовый log-файл записываются начальные значения регистров (сразу после нажатия кнопки «Run»), затем запись производится только измененных с момента начала предыдущей записи в log-файл регистров за интервал, указанный в параметрах (на листе «params»). При нажатии кнопки «Stop» в log-файле фиксируются текущие числовые значения регистров.

Мнемосхема. На мнемосхеме можно изменять цвет ячейки (ячеек) в зависимости от значения в необходимой ячейке (использование стандартной функции CALC – условное форматирование ячеек), например, для информирования о выходе значений канала (регистра) за границы уставок. Дополнительно реализованы следующие macros-функции для графических объектов: поворот, изменение цвета контура и/или заливки, прозрачности, перемещения на передний план, изменения высоты. Для использования macros-функций необходимо предварительно задавать имя графическому объекту (ПКМ→Имя). Пример мнемосхемы приведен на рис. 4.

Выполнение подпрограмм. Встроенный язык написания макросов ОО CALC не предусматривает параллельное выполнение потоков/процессов. Для выполнения подпрограмм технологических процессов возможен вызов отдельной функции из различных участков кода основной программы – непрерывного опроса состояния датчиков устройств.

Выполнение подпрограммы (скрипта) – сводится к манипуляции в заданной последовательности с данными,

Посевин Алексей Олегович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория разработок поглощающих материалов, элементов активных зон и экспериментальных устройств, АО «ГНЦ НИИАР».

E-mail: alexus_1982@mail.ru

представленными в таблице устройств и их регистров (рис. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана SCADA-система в среде табличного процессора (Open, Libre) Office CALC, которая имеет возможность отображать числовые значения регистров MODBUS-устройств, задавать их значения. Построенные встроенными средствами CALC графические объекты мнемосхемы позволяют в реальном времени визуализировать процесс управления оборудованием в наглядном виде.

Система удобна при использовании в обучении, в качестве инструмента первичной апробации работоспособности устройств экспериментальных стендов и различного рода технологических процессов с последующим переходом, при необходимости, на более функциональные SCADA [3].

Открытость исходных кодов и широкая распространность (Open, Libre)Office, включая описание встроенного языка программирования написания подпрограмм-макросов, открывают широкие возможности по модернизации данной системы и ее адаптации под конкретное применение.

Ссылка для скачивания системы, включающей исходные коды (файл .ods, и файлы modbus_srv.c и modbus_srv): <https://sourceforge.net/projects/scada-in-libreoffice-calc/>

Лицензия GNU GPL v3: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.ru.html>

Список литературы

- Хахаев И. А., Кучинский В. Ф. Технологии обработки табличной информации в LibreOffice: Уч. пособие - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. - 177 с.
- Смирнов Д.Е., Кишкович Ю.П., Никитина Е.С. Цифровая математика в LibreOffice Calc. Уч. пособие. Под ред. Д.Е. Смирнова. — М.: Прометей, 2024. — 244 с.
- Колодников И.А., Лебедев В.О. К вопросу об архитектуре современных АСУТП // Автоматизация в промышленности. 2018. №8. С. 9-12.