

УДК 004.42,004.5

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ SCADA IDE ДЛЯ ПАО «ТЕНЗОР»

Плотников Антон Андреевич¹, Миловидова Анна Александровна²

¹Студент;

Государственный университет «Дубна»;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;

e-mail: plotnikov@tenzor.net.

²Кандидат технических наук, доцент;

Государственный университет «Дубна»;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;

Кандидат технических наук, доцент;

МИРЭА – Российский технологический университет;

Россия, 119454, г. Москва, п-т Вернадского, 78;

e-mail: milanna@uni-dubna.ru.

Цель работы – разработать перспективную SCADA IDE для ПАО «ТЕНЗОР», отвечающую современным стандартам и обеспечивающую комплексную поддержку создания систем промышленной автоматизации. В ходе исследования проведен анализ текущего состояния и трендов развития SCADA-систем, выполнен сравнительный анализ существующих SCADA IDE, выявлены их ограничения. На основе этого определены ключевые требования к проектируемой системе. Разработанный программный прототип прошел апробацию на реальном индустриальном проекте, подтвердив свою практическую применимость и эффективность.

Полученные результаты закладывают основы для перехода ПАО «ТЕНЗОР» на качественно новый уровень разработки современных систем промышленной автоматизации на базе SCADA. Дальнейшие направления развития включают интеграцию с облачными платформами Интернета вещей, реализацию веб-ориентированных средств разработки.

Ключевые слова: SCADA, интегрированная среда разработки, человеко-машинный интерфейс, ПЛК, МЭК 61131-3, промышленные протоколы, информационная безопасность.

Для цитирования:

Плотников А. А., Миловидова А. А. Разработка программного обеспечения верхнего уровня SCADA IDE для ПАО «ТЕНЗОР» // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. 2024. № 3. С. 36-45. EDN: SYBBRG. URL : <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/624>.

DEVELOPMENT OF TOP-LEVEL SCADA IDE SOFTWARE FOR PJSC TENSOR

Plotnikov Anton A.¹, Milovidova Anna A.²

¹Student;

Dubna State University;

19 Universitetskaya Str., Dubna, Moscow region, 141980, Russia;

e-mail: plotnikov@tenzor.net.

²PhD in Engineering sciences, associate professor;

Dubna State University;

19 Universitetskaya Str., Dubna, Moscow region, 141980, Russia;

PhD in Engineering sciences, associate;

MIREA - Russian Technological University;



Статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

78 Vernadsky Ave, Moscow, 119454, Russia;
e-mail: milanna@uni-dubna.ru.

The purpose of the work is to develop a promising SCADA IDE for PJSC TENSOR that meets modern standards and provides comprehensive support for the creation of industrial automation systems. In the course of the study, an analysis of the current state and trends in the development of SCADA systems was carried out, a comparative analysis of existing SCADA IDE was performed, and their limitations were revealed. Based on this, the key requirements for the designed system are determined. The developed software prototype has been tested on a real industrial project, confirming its practical applicability and effectiveness.

The results obtained lay the foundations for the transition of PJSC TENSOR to a qualitatively new level of development of modern industrial automation systems based on SCADA. Further development directions include integration with cloud platforms of the Internet of Things, implementation of web-oriented development tools.

Keywords: SCADA, integrated development environment, human-machine interface, PLC, IEC 61131-3, industrial protocols, information security.

For citation:

Plotnikov A. A., Milovidova A. A. Development of top-level SCADA IDE SOFTWARE for PJSC TENSOR, *System analysis in science and education*, 2024;(3):36-45 (in Russ). EDN: SYBBRG. Available from: <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/624>.

Введение

SCADA-системы играют ключевую роль в современной промышленной автоматизации, обеспечивая мониторинг, супервизорное управление и сбор данных с распределенных устройств и контроллеров [1]. Эффективность создания SCADA-приложений в значительной степени определяется возможностями используемых инструментальных средств разработки - SCADA IDE.

На сегодняшний день на рынке представлен широкий спектр как зарубежных, так и отечественных SCADA IDE, среди которых можно отметить TRACE MODE, MasterSCADA, Genesis32, WinCC, iFix. Однако, как показывает анализ, большинство существующих решений не в полной мере отвечают вызовам, связанным с трендами цифровизации промышленности - переходом к киберфизическим системам, интеграцией с технологиями Индустрии 4.0 и промышленного интернета вещей [2].

Такие ограничения существенно сдерживают применение современных подходов и практик разработки SCADA-систем нового поколения на предприятиях. В частности, это актуально для ПАО «ТЕНЗОР» - одного из ведущих производителей систем автоматизации для атомной энергетики и комплексных решений противопожарной защиты. Используемая на предприятии SCADA TRACE MODE 6 уже не в полной мере соответствует растущим требованиям к функциональности, масштабируемости и информационной безопасности [3].

В связи с этим, целью данного исследования является разработка перспективной SCADA IDE для ПАО «ТЕНЗОР», отвечающей современным стандартам и обеспечивающей комплексную поддержку процесса создания систем промышленной автоматизации нового поколения. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ текущего состояния и трендов развития SCADA-систем и средств их разработки.
2. Выполнен сравнительный анализ существующих SCADA IDE, выявлены их ограничения.
3. Определены ключевые требования к перспективной SCADA IDE с учетом специфики ПАО «ТЕНЗОР».
4. Разработана открытая модульная архитектура SCADA IDE, спроектированы ее основные подсистемы.

5. Создан полнофункциональный программный прототип *SCADA IDE*, реализующий базовые сценарии разработки.
6. Проведена апробация разработанной *SCADA IDE* на реальном индустриальном проекте, подтверждена ее практическая применимость.

Анализ предметной области

Современное состояние *SCADA*-систем характеризуется трансформацией в сторону большей открытости, модульности и переносимости решений. Новое поколение *SCADA* должно органично вписываться в экосистему киберфизических систем, обеспечивая бесшовный обмен данными с физическим оборудованием, интеллектуальными устройствами и информационными системами предприятия [4].

Основными трендами эволюции *SCADA*-систем являются:

- Переход к сервис-ориентированным и микросервисным архитектурам, обеспечивающим гибкую интеграцию и масштабируемость.
- Углубление конвергенции с ИТ-системами (MES, ERP, BI) и использование общих платформ, моделей данных и онтологий.
- Внедрение элементов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) для решения задач оптимизации, предиктивной аналитики, автоматической диагностики.
- Поддержка мобильных и web-интерфейсов, средств дополненной реальности (AR) для повышения эффективности человеко-машинного взаимодействия.
- Реализация парадигмы «защищенность по умолчанию», переход к многоуровневым стратегиям обеспечения кибербезопасности [5].

Эти тенденции формируют новые требования к инструментальным средствам разработки *SCADA*-приложений (*SCADA IDE*) – гибкость, масштабируемость, кроссплатформенность, поддержку быстрого прототипирования, моделирования и автоматизации рутинных операций. Такими возможностями не в полной мере обладают традиционные «монолитные» *SCADA IDE* с закрытой архитектурой.

Для подтверждения этого тезиса был проведен сравнительный анализ 6 наиболее популярных на отечественном рынке пакетов: *TRACE MODE 6*, *TRACE MODE 7*, *MasterSCADA 4D*, *Simple-Scada*, *Infinity HMI*, *MasterSCADA 3.X*. Использовалась многокритериальная модель оценки по 50+ параметрам, сгруппированным в 10 обобщенных категорий (графика, редактирование, работа с данными, шаблоны, отладка, интеграция, безопасность и др.) Для получения обоснованных результатов применялись методы экспертных оценок, попарных сравнений и SWOT-анализа.

По результатам исследования были выделены безусловные лидеры рынка – *TRACE MODE 7* и *MasterSCADA 4D*, набравшие 8,6 и 8,4 балла из 10 возможных. Эти продукты наиболее близко подошли к реализации ключевых требований - развитые средства визуализации и 3D-графики, поддержка скриптовых языков и промышленных протоколов, высокая производительность, наличие генераторов отчетов и трендов. В то же время, даже эти флагманские системы не лишены ряда ограничений, связанных с закрытой архитектурой, ориентацией на *Windows*, отсутствием полноценной поддержки веб-технологий и облачных платформ.

Остальные рассмотренные продукты показали еще более скромные результаты, продемонстрировав различные функциональные недостатки, сложность масштабирования, ограниченную совместимость со сторонними компонентами. В целом, проведенный анализ подтвердил тезис об отсутствии на рынке универсальной *SCADA IDE*, в полной мере соответствующей динамике современных требований и обладающей достаточной гибкостью, и расширяемостью для адаптации к меняющимся условиям (см. рис. 1).

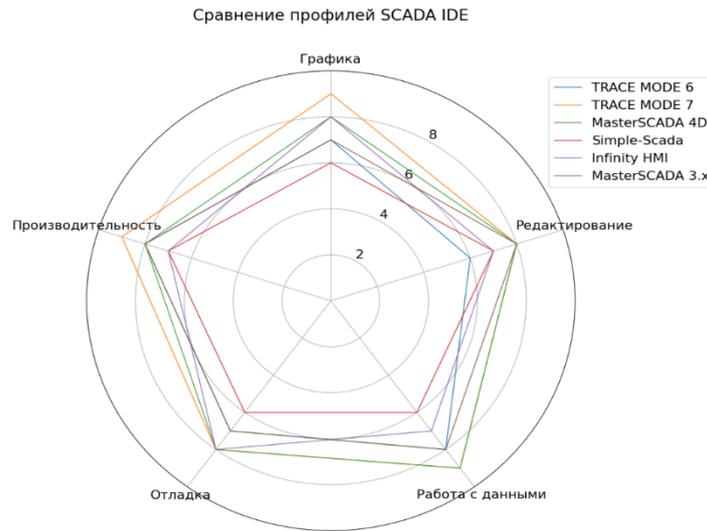


Рис. 1. Сравнение профилей SCADA IDE по ключевым группам критериев

Проектирование SCADA IDE

По результатам анализа предметной области и с учетом специфических потребностей ПАО «ТЕН-ЗОР» был разработан набор ключевых требований к перспективной SCADA IDE. Они легли в основу проектирования архитектуры и функциональности системы. Ядром SCADA IDE должна стать открытая модульная архитектура, обеспечивающая:

- Кроссплатформенность, независимость от ОС и аппаратной платформы.
- Поддержку открытых стандартов и протоколов (МЭК 61131-3, MODBUS TCP/IP, MODBUS RTU и др.).
- Расширяемость функциональности за счет поддерживаемых внешних модулей и плагинов.
- Многоуровневую систему обеспечения информационной безопасности.

Предложенная архитектура SCADA IDE основана на многослойном подходе и включает в себя три основных уровня: представления, логики и данных. Уровень представления реализует функции человеко-машинного интерфейса (HMI), визуализации данных и диспетчерского управления. Уровень логики содержит средства разработки управляющих программ ПЛК, конфигурирования, драйверы коммуникаций, модули *událostí*, механизмы симуляции. Уровень данных обеспечивает хранение, доступ и управление данными проекта (переменные, тренды, журналы, права доступа) (см. рис. 2).

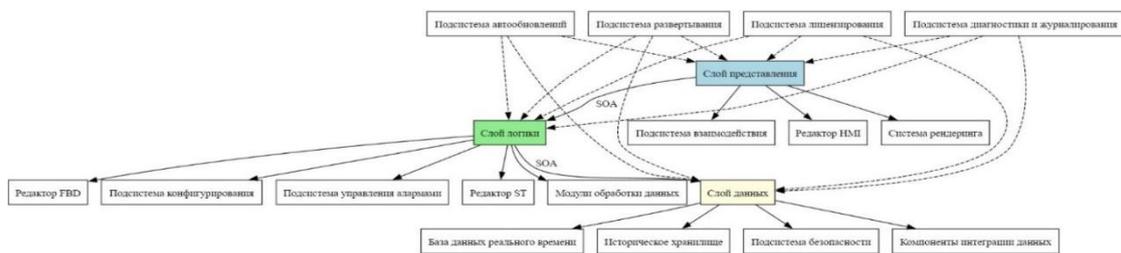


Рис. 2. Архитектура SCADA IDE

В соответствии с предложенной архитектурой были спроектированы следующие ключевые подсистемы SCADA IDE:

1. Подсистема редакторов программ ПЛК на языках МЭК 61131-3 (ST, FBD) со встроенным компилятором.

2. Подсистема конфигурирования оборудования, каналов связи и протоколов.
3. Подсистема сбора, хранения и отображения аварийных и технологических событий (алармов).
4. Подсистема обеспечения информационной безопасности и разграничения прав доступа (ролевая модель).
5. Подсистема симуляции сигналов и данных для отладки приложений.
6. Инфраструктурные модули (управления проектом, контекстной справки, лицензирования).

Для каждой подсистемы были разработаны детальные требования, определены используемые форматы данных, спроектированы интерфейсы взаимодействия и связи с другими модулями *SCADA IDE*. При проектировании активно использовались принципы *SOLID* и паттерны проектирования, что позволило обеспечить низкую связанность и высокую сопровождаемость итогового решения.

Реализация *SCADA IDE*

Разработанная архитектура *SCADA IDE* была реализована с использованием кроссплатформенного стека технологий на основе *C++/Qt*. Выбор данного стека обусловлен его зрелостью, высокой производительностью, богатством библиотек и фреймворков, поддерживающих все ключевые платформы (*Windows, Linux*). *Qt* обеспечивает развитые возможности создания современных пользовательских интерфейсов и 2D/3D-визуализации данных.

Процесс разработки вёлся итеративно с применением гибкой методологии и непрерывной интеграцией. Поддерживалось несколько окружений - *dev, test, staging, prod*. В репозитории исходного кода использовались ветки для реализации отдельных функций (*feature branches*) с последующим слиянием в основную ветвь разработки (*dev*). Регулярно выполнялись пересборка и автоматическое тестирование системы на целевых платформах.

В соответствии с проектом, были реализованы основные функциональные подсистемы *SCADA IDE*:

- Встроенные редакторы ST и FBD по МЭК 61131-3 с синтаксической подсветкой, автодополнением и отладчиком (см. рис. 3 и 4).
- Мастера конфигурирования оборудования, каналов ввода/вывода, промышленных протоколов (Modbus) (см. рис. 5).
- Подсистемы сбора и отображения событий (алармов) с классификацией по типам и категориям (см. рис. 6).

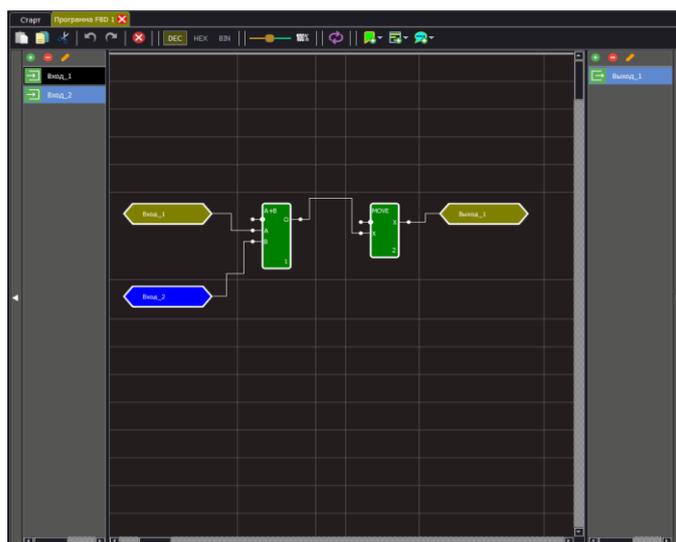


Рис 3. Окно редактора FBD

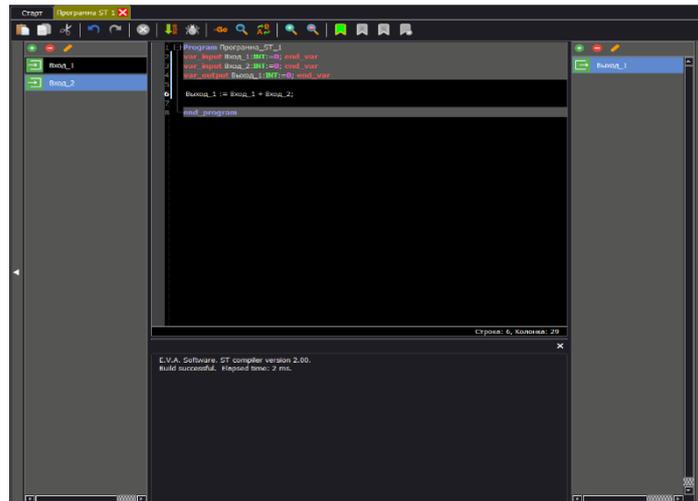


Рис 4. Окно редактора ST

The screenshot shows the MODBUS register editor window. It features a table with the following columns: 'Наименование', 'Тип регистра', 'Адрес регист', 'Направление', 'Формат', and 'Словарь сообщений'. The table contains 10 rows of MODBUS registers.

Наименование	Тип регистра	Адрес регист	Направление	Формат	Словарь сообщений
Регистр MODBUS 1	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет
Регистр MODBUS 2	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет
Регистр MODBUS 3	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет
Регистр MODBUS 4	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет
Регистр MODBUS 5	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет
Регистр MODBUS 6	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет
Регистр MODBUS 7	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет
Регистр MODBUS 8	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет
Регистр MODBUS 9	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет
Регистр MODBUS 10	HOLDING ...	0	Вход	Дискретный (16)	Нет

Рис 5. Окно редактора группы с регистрами MODBUS

The screenshot shows the alarm log window with a table of records. The columns are: 'Время', 'Источник', 'Сообщение', 'Пользователь', 'Категория', and 'Время квитирования'. The table contains 7 rows of identical records.

Время	Источник	Сообщение	Пользователь	Категория	Время квитирования
01.07.2024 10:52:56:693	Источник	Сообщение	Пользователь	Норма	
01.07.2024 10:52:56:693	Источник	Сообщение	Пользователь	Норма	
01.07.2024 10:52:56:693	Источник	Сообщение	Пользователь	Норма	
01.07.2024 10:52:56:693	Источник	Сообщение	Пользователь	Норма	
01.07.2024 10:52:56:693	Источник	Сообщение	Пользователь	Норма	
01.07.2024 10:52:56:693	Источник	Сообщение	Пользователь	Норма	
01.07.2024 10:52:56:693	Источник	Сообщение	Пользователь	Норма	

At the bottom, it says 'Всего записей: 7' and includes several icons for file operations.

Рис 6. Журнал алармов

Для обеспечения информационной безопасности была реализована ролевая модель разграничения прав доступа. Каждой учетной записи в системе может быть присвоен набор ролей (Администратор, Разработчик, Оператор), в соответствии с которыми определяются права на выполнение тех или иных операций и доступ к данным проекта. Поддерживаются механизмы аутентификации и аудита действий пользователей (см. рис. 7).

The screenshot shows a software window titled 'Пользователь по умолчанию 1' (Default User 1) with a red 'X' icon in the title bar. The window is divided into several sections:

- Общие (General):** Contains fields for 'Наименование:' (Name) with the value 'Пользователь по умолчанию 1' and 'Комментарий:' (Comment) with an empty field and a search icon.
- Параметры (Parameters):** Divided into two columns:
 - Авторизация (Authentication):** Fields for 'Логин*' (Login) with 'admin' and 'Пароль*' (Password) with 'admin'.
 - Персональные (Personal):** Fields for 'Фамилия*' (Surname) with 'Иванов', 'Имя*' (Name) with 'Иван', 'Отчество' (Patronymic) with 'Иванович', 'Телефон' (Phone), and 'Email'.
- Права (Rights):** A section with checkboxes for 'Временно недоступен' (Temporarily unavailable) and 'Поменять пароль' (Change password).

A note at the bottom left states: '* Поля обязательные для заполнения' (Required fields).

Рис 7. Окно редактора «Пользователь по умолчанию»

Разработана подсистема управления данными проекта, включающая редактор глобальных и локальных переменных с поддержкой различных типов данных, механизмы адресации переменных и передачи данных между компонентами проекта (см. рис. 8).

The screenshot shows a dialog box titled 'Редактировать' (Edit) for a variable named 'Переменная 1'. The 'Тип:' (Type) is set to 'USINT'. The 'Начальное значение:' (Initial value) is '0' and 'Доступ:' (Access) is 'Вход/Выход' (Input/Output).

The 'Типы' (Types) section is expanded, showing a list of data types:

Логические (Logical)	Целые знаковые (Signed Integers)
BOOL	SINT
BIT	INT
Вещественные (Floating-point)	DINT
REAL	LINT
LREAL	Целые беззнаковые (Unsigned Integers)
	USINT
	UINT
	UDINT
	ULINT

Buttons for 'OK' and 'Отмена' (Cancel) are at the bottom right.

Рис 8. Окно редактирования переменной

В целях упрощения процесса тестирования и отладки разрабатываемых SCADA-приложений в состав IDE был включен встроенный симулятор сигналов и данных. Он позволяет имитировать работу подключенных устройств и каналов связи, генерировать входные воздействия различного типа а (дискретные, аналоговые, импульсные) и визуализировать результаты обработки (см. рис. 9).

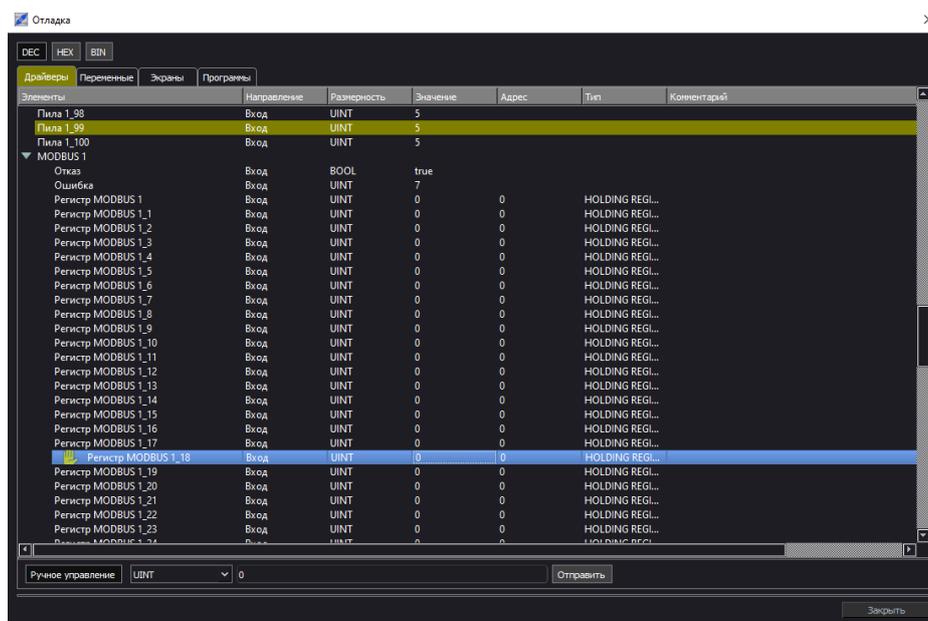


Рис 9. Окно отладки проекта

Апробация SCADA IDE

Разработанный программный прототип прошел апробацию на реальном промышленном проекте ПАО «ТЕНЗОР» – создании системы противопожарной защиты «Лидер-А».

Конфигурация системы в рамках тестового проекта включала:

- 3 прибора приемно-контрольных пожарных (ППКП) для сбора данных от извещателей и формирования команд управления;
- 350 пожарных извещателей различных типов (дымовые, тепловые, ручные) для обнаружения возгораний;
- 20 контроллеров управления пожаротушением (КУПТ) для запуска средств тушения по командам ППКП;
- 40 пожарных оповещателей (световые, звуковые) для информирования персонала об эвакуации.

В ходе проекта с использованием новой SCADA IDE были разработаны:

- Программное обеспечение для ПЛК приборов ППКП и КУПТ на языках *ST/FBD*.
- Экраны визуализации, отображающие состояние пожарных зон, извещателей и средств тушения.
- Алгоритмы автоматического пуска систем пожаротушения и оповещения при срабатывании извещателей.
- Подсистемы журналирования событий (тревог, неисправностей) и архивирования данных.
- Применение разработанной SCADA IDE позволило:
 - На 30% сократить трудоемкость и сроки реализации проекта за счет использования готовых библиотек и мастеров.
 - Повысить надежность системы за счет автоматизации процессов тестирования и верификации.
 - Обеспечить соответствие современным стандартам и требованиям к ПО систем противопожарной защиты.

Опыт внедрения на объекте подтвердил практическую применимость и эффективность разработанной *SCADA IDE* для решения реальных промышленных задач. При этом были выявлены направления для дальнейшего развития платформы, такие как более глубокая интеграция с СУБД и BIM-моделями зданий.

Заключение

В статье представлены результаты разработки перспективной *SCADA IDE* для ПАО «ТЕНЗОР». Предложенное решение реализует современные принципы построения инструментальных средств нового поколения - открытость, модульность, кроссплатформенность, ориентацию на веб-технологии и облачные платформы.

Ключевыми особенностями разработанной *SCADA IDE* являются:

- Поддержка открытых стандартов и протоколов (МЭК 61131-3, MODBUS TCP/IP, MODBUS RTU).
- Мощные средства разработки программ ПЛК и HMI-интерфейсов.
- Встроенная подсистема симуляции для комплексной отладки.
- Расширяемая модульная архитектура на основе Qt/C++.
- Развитая подсистема безопасности с ролевой моделью доступа.

Проведенная апробация показала высокую эффективность новой *SCADA IDE* для решения задач промышленной автоматизации. Ее применение позволило на 30% сократить трудоемкость и повысить качество реализации проекта по сравнению с традиционными средствами.

Перспективные направления развития разработанной системы включают:

- Интеграцию с облачными платформами (Azure IoT, AWS IoT) для создания Industry 4.0 решений.
- Реализацию веб-ориентированных средств разработки и отладки.
- Более глубокую поддержку функций прогнозной аналитики и оптимизации на основе ИИ/МО.
- Валидацию применимости подхода для других промышленных платформ (например, на базе Linux).

Результаты исследования создают основу для перехода ПАО «ТЕНЗОР» на качественно новый уровень в разработке современных систем промышленной автоматизации на базе *SCADA*. Модульность и расширяемость платформы позволит гибко наращивать ее функциональность в соответствии с отраслевой спецификой различных проектов.

Список источников

1. Андреев Е. Б. *SCADA-системы: взгляд изнутри* / Е. Б. Андреев, Н. А. Куцевич, О. В. Синенко. – Москва: РТСофт, 2004. – 176 с.
2. *Промышленные программно-аппаратные средства на отечественном рынке АСУ ТП: Практическое пособие для специалистов, занимающихся разработкой и модернизацией СУ на промышленных предприятиях* / В.В. Кангин. - Москва: СОЛЮН-Пресс, 2014. - 136 с.
3. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016. Контроллеры программируемые. Языки программирования : Дата введения – 01.04.2017 // Кодекс – Профессиональные справочные системы. — АО «Кодекс», 2024. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200135008> (дата обращения: 27.05.2024).
4. Сенигов П. Н. Открытые SCADA-системы // Мир компьютерной автоматизации. – 2002. – №1. – С. 34-37.

5. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы: учебное пособие / И. А. Елизаров, А. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев [и др.] – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет; ЭБС АСВ, 2015. – 160 с.
6. Пьявченко Т. А. Автоматизированные информационно-управляющие системы с применением SCADA-системы Trace Mode / Т. А. Пьявченко. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 336 с.
7. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Д. Влиссидес. — Санкт-Петербург : Питер, 2007. - 366 с.
8. Parr T. Language Implementation Patterns: Create Your Own Domain-Specific and General Programming Languages. – Pragmatic Bookshelf, 2010. – 374 с.
9. Гранд М. Шаблоны проектирования в Java. Справочник разработчика. – Москва: Вильямс, 2016. – 464 с.