

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

О. М. Пупена

**РОЗРОБЛЕННЯ
ЛЮДИНО-МАШИННИХ ІНТЕРФЕЙСІВ
ТА СИСТЕМ ЗБИРАННЯ ДАНИХ
З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНИХ
ЗАСОБІВ SCADA/HMI**

Навчальний посібник

Київ
Видавництво Ліра-К
2020

**УДК 004.5:004.6SCADA/НМІ](075.8)
П88**

*Рекомендовано Вченою радою
Національного університету харчових технологій
(протокол №11 від 27.06.2019 р.)*

Рецензенти:

В.А.Хобін – д-р техн. наук, проф., Одеської національної академії харчових технологій

Ю.М.Ковриго – канд.техн.наук., проф. Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

Б. М. Гончаренко – д-р техн. наук, проф. Націон. університету харчових технологій

Пупена О.М.,

П88

Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/НМІ. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.

ISBN 978-617-7910-07-6

У навчальному посібнику розглянуті питання проектування, розроблення та налагодження автоматизованих систем керування з використанням програмних засобів SCADA/НМІ. Засоби розглянуті як з точки зору необхідних функцій, так і з позиції проєктувальника і розробника. Розглянуті функції відповідають сучасним вимогам, які в свою чергу значно змінилися за останні п'ять років, у зв'язку з ростом можливостей сучасної техніки. У тому числі в посібнику враховане використання технологій Індустрії 4.0, концепцій промислового Інтернету речей та кібербезпеки. У роботі наведені технології та практики проєктування а також впровадження, які доступні у більшості інструментальних засобів, що дозволить молодим спеціалістам швидко зорієнтуватися у пошуку аналогічних. Посібник спирається на сучасні світові стандарти, що з'явилися за останні 5-ть років.

Навчальний посібник може бути корисний для вивчення дисциплін «Людино-машинні інтерфейси», курсового та дипломного проєктування студентами зі спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», а також спеціалістам, що працюють за даним напрямом.

ISBN 978-617-7910-07-6

© О.М. Пупена 2020
© Видавництво Ліра-К», 2020

ЗМІСТ

ВІД АВТОРА	10
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1. Призначення та можливості людино-машинних інтерфейсів та збирання даних в автоматизованих системах керування	17
1.1. Місце засобів SCADA/HMI в структурі керування.....	17
1.1.1. Способи реалізації людино-машинного інтерфейсу.....	17
1.1.2. Засоби розроблення автоматизованих робочих місць.....	19
1.1.3. Функціональні можливості середовищ виконання SCADA/HMI.....	20
1.2. Людино-машинний інтерфейс (HMI).....	21
1.2.1. Загальний вигляд графічного HMI.....	21
1.2.2. Способи та елементи відображення стану процесу.....	23
1.2.3. Способи та елементи введення (зміни значення змінних).....	29
1.3. Підсистема тривожної сигналізації та подій.....	32
1.3.1. Загальні принципи функціонування.....	32
1.3.2. Ведення журналу тривог та його перегляд.....	33
1.3.3. Типи тривог.....	36
1.3.4. Події та журнал подій.....	36
1.4. Підсистема трендів.....	37
1.4.1. Загальні принципи функціонування.....	37
1.4.2. Переглядання трендів.....	39
1.5. Додаткові підсистеми SCADA/HMI.....	41
1.5.1. Формування звітів.....	41
1.5.2. Керування рецептами.....	42
1.5.3. Планувальники.....	44
1.5.4. Система розмежування доступу.....	44
1.6. Мережні архітектури.....	45
Контрольні запитання.....	46
РОЗДІЛ 2. Загальні принципи розроблення SCADA/HMI	48
2.1. Загальний опис процесів життєвого циклу програмного проекту SCADA/HMI.....	48
2.2. Розроблення проекту.....	50
2.2.1. Узагальнена функціональна структура SCADA системи.....	50
2.2.2. Структура та принципи побудови середовища розроблення.....	52
2.2.3. Створення графічної частини проекту.....	55
2.3. Виконання та налагодження.....	57
2.4. Введення в дію.....	58
2.5. Приклад організації проектів у Citect.....	59
2.5.1. Основні компоненти середовищ розроблення та виконання.....	59
2.5.2. Розроблення проекту.....	62
2.5.3. Виконання та налагодження проекту.....	64
2.5.4. Введення в дію.....	68
2.6. Приклад організації проектів в SCADA zenon.....	71

2.6.1. Основні компоненти середовищ розроблення та виконання	71
2.6.2. Розроблення проекту	73
2.6.3. Виконання та налагодження проекту	76
2.6.4. Введення в дію	78
2.7. Приклад організації проектів у WinCC Comfort	79
2.7.1. Основні компоненти середовищ розроблення та виконання	79
2.7.2. Розроблення проекту	80
2.7.3. Виконання та налагодження проекту	81
2.7.4. Введення в дію	82
Контрольні запитання	83
Список використаних джерел	84
РОЗДІЛ 3. Підсистема керування збором та обробленням даних в реальному часі.....	85
3.1. База даних реального часу та підсистема введення/виведення.....	85
3.2. Змінні (Теги).....	86
3.3. Ідентифікація тегів	88
3.4. Зв'язок із джерелом даних	90
3.5. Масштабування, діапазони та обмеження на введення	91
3.6. Одиниці виміру, формат відображення.....	93
3.7. Властивості тегів у режимі виконання.....	94
3.8. Типи даних тегів.....	96
3.9. Деякі підходи до організації БДРЧ.....	97
3.9.1. Пакування бітів в теги	98
3.9.2. Використання буферів.....	99
3.9.3. Використання індексної адресації.....	100
3.10. Підходи до автоматизації створення БДРЧ	101
3.11. Приклади конфігурування бази даних реального часу у Citect	104
3.12. Приклади конфігурування бази даних реального часу в SCADA zenon	109
3.13. Приклади конфігурування бази даних реального часу для WinCC Comfort	113
Контрольні запитання.....	115
Список використаних джерел	116
РОЗДІЛ 4. Підсистема введення/виведення	117
4.1. MODBUS.....	117
4.1.1. Загальні принципи функціонування та налаштування MODBUS.....	117
4.1.2. Загальні принципи функціонування та налаштування MODBUS RTU/ASCII	123
4.1.3. Загальні принципи функціонування та налаштування MODBUS TCP/IP	126
4.1.4. Інструменти для тестування та налагодження	128
4.1.5. Налагодження та боротьба з неполадками	135
4.2. OPC DA	141
4.2.1. Загальні принципи використання OPC DA	142
4.2.2. Принципи функціонування OPC DA	143
4.2.3. Приклад налаштування в SCADA Citect.....	146
4.2.4. Приклад налаштування в SCADA zenon.....	149
4.2.5. OPC DA в мережних архітектурах	151
4.2.6. Налагодження та боротьба з несправностями.....	153
4.3. OPC UA	155

4.3.1. Загальні принципи функціонування OPC UA.....	155
4.3.2. Ідентифікація вузлів в OPC UA.....	161
4.3.3. Функціонування читання/записування в OPC UA	165
4.3.4. Принципи підключення до OPC UA Server та захисту	167
4.3.5. Процедура підключення OPC UA клієнта.....	172
4.3.6. Тестові OPC UA клієнти та сервери	175
4.3.7. Приклад налаштування в SCADA Citect	177
4.3.8. Приклад налаштування в SCADA zenon	181
4.3.9. Приклад налаштування зв'язку мобільного додатку Suppanel HMI з OPC UA Server в M241.....	183
4.4. Протокол Simatic S7	185
4.5. Протокол MQTT.....	191
4.5.1. Загальні принципи функціонування MQTT	191
4.5.2. Деталі архітектури MQTT	193
4.5.3. Рівні якості обслуговування MQTT	195
4.5.4. Установлення з'єднання та обмін повідомленнями в MQTT	196
4.5.5. Теми повідомлень та використання шаблонів MQTT	200
Контрольні запитання.....	202
Список використаних джерел.....	204
РОЗДІЛ 5. Людино-машинний інтерфейс	206
5.1. Основи побудови ефективних людино-машинних інтерфейсів	206
5.1.1. Модель контура контролю та керування.....	206
5.1.2. Ситуаційна обізнаність	208
5.1.3. Взаємодія з користувачем.....	214
5.2. Дисплеї.....	217
5.2.1. Типи та стилі дисплеїв	217
5.2.2. Дисплеї в SCADA zenon	221
5.2.3. Дисплеї в SCADA Citect	222
5.2.4. Дисплеї у WinCC Comfort.....	223
5.3. Редактори графічної підсистеми	224
5.4. Об'єкти людино-машинного інтерфейсу та анімація.....	226
5.4.1. Типи об'єктів людино-машинного інтерфейсу	226
5.4.2. Анімація у SCADA zenon	227
5.4.3. Анімація у WinCC Comfort.....	228
5.4.4. Анімація у Citect	228
5.4.5. Налаштування реакцій на подію	230
5.5. Анімовані компоненти (символи) та сторінки із замінними прив'язками анімацій	232
5.5.1. Основні ідеї.....	232
5.5.2. Підходи в Citect	233
5.5.3. Підходи в zenon	235
5.5.4. Підходи в WinCC Comfort	236
5.6. Можливості розширення палітри анімаційних компонентів	238
5.7. Ієрархія дисплеїв та навігація	240
5.7.1. Ієрархія дисплеїв	240
5.7.2. Навігація по дисплеях.....	244
5.7.3. Реалізація меню в Citect.....	247

5.7.4. Реалізація меню в zenon	248
5.8. Принципи розроблення високоєфективного людино-машинного інтерфейсу	249
5.8.1. Стан проблеми високоєфективних НМІ	249
5.8.2. Основні недоліки реалізованих НМІ	249
5.8.3. Елементи високоєфективних людино-машинних інтерфейсів	257
Контрольні запитання	262
Список використаних джерел	264
РОЗДІЛ 6. Розроблення підсистеми тривожної сигналізації	266
6.1. Важливість і стандарти впровадження підсистем тривожної сигналізації	266
6.2. Місце підсистеми тривожної сигналізації в системі автоматизованого керування	268
6.3. Взаємодія оператора з процесом	270
6.4. Автомат станів тривоги	272
6.5. Приклад діаграми поведінки тривоги в часі	276
6.6. Типи, групування та класифікація тривоги	278
6.7. Атрибути тривоги	280
6.8. Людино-машинний інтерфейс для систем тривожної сигналізації	281
6.8.1. Загальні концепції	281
6.8.2. Оповіщення про стани тривоги	282
6.8.3. Дисплеї тривоги	284
6.9. Розширені та прогресивні методи організації тривоги	289
6.10. Події	291
6.11. Підсистема тривожної сигналізації в SCADA Citect	292
6.11.1. Загальні принципи функціонування	292
6.11.2. Типи тривоги	293
6.11.3. Категорія тривоги (Alarm Category)	296
6.11.4. Ведення журналів тривоги і подій та їх відображення на дисплеях (сторінках)	299
6.11.5. Використання властивостей тривоги як тегів	304
6.11.6. Пристрої системного введення/виведення в Citect та ведення журналу користувачьких подій	305
6.11.7. Додаткові функції тривоги в Citect	309
6.12. Підсистема тривожної сигналізації в SCADA zenon	311
6.12.1. Загальні принципи функціонування	311
6.12.2. Означення типів тривоги через граничні значення та матриці реакцій	312
6.12.3. Кільцевий буфер та AML	317
6.12.4. Класифікація та групування тривоги	317
6.12.5. Відображення на дисплеї подій та тривоги	320
6.12.6. Ведення журналів подій та тривоги (CEL)	323
6.13. Підсистема тривожної сигналізації у WinCC Comfort	325
6.13.1. Загальні принципи функціонування	325
6.13.2. Класи тривоги	325
6.13.3. Типи тривоги	326
6.13.4. Відображення тривоги на дисплеях (екранах)	329
Контрольні запитання	330
Список використаних джерел	332

РОЗДІЛ 7. Розроблення підсистеми трендів	333
7.1. Модель трендового контуру	333
7.2. Збереження трендових даних.....	334
7.3. Відображення трендових даних.....	336
7.4. Підсистема трендів в SCADA Citect	337
7.5. Підсистема трендів в SCADA zenon	345
7.6. Підсистема трендів у WinCC Comfort.....	351
Контрольні запитання.....	354
РОЗДІЛ 8. Інші підсистеми SCADA/HMI	356
8.1. Підсистема скриптів	356
8.1.1. Citect Cicode	357
8.1.2. VBA у zenon	358
8.1.3. VBScript у WinCC Comfort	359
8.2. Підсистема генерування подій.....	359
8.2.1. Підсистема генерування подій у Citect.....	359
8.2.2. Підсистема генерування подій у SCADA zenon	360
8.2.3. Підсистема генерування подій у WinCC Comfort.....	361
8.3. Доступ до баз даних зі SCADA/HMI.....	362
8.3.1. Використання баз даних у SCADA/HMI	362
8.3.2. Мова SQL	363
8.3.3. ODBC, DAO, JDBC	365
8.3.4. OLE DB, ADO та ADO.NET	368
8.3.5. Доступ до БД з Citect	371
8.3.6. Доступ до БД зі SCADA zenon	373
8.4. Підсистема роботи з рецептами.....	374
8.4.1. Загальні підходи	374
8.4.2. Керування рецептами згідно з IEC-61512 та ISA-88	375
8.4.3. Підсистема рецептів у SCADA Citect.....	377
8.4.4. Підсистема рецептів у SCADA zenon	378
8.4.5. Підсистема рецептів у WinCC Comfort	381
8.5. Підсистема звітів.....	383
8.5.1. Загальні підходи	383
8.5.2. Підсистема звітів з використанням Jaspersoft.....	384
8.5.3. Підсистема звітів у Citect.....	390
8.5.4. Підсистема звітів у zenon.....	392
8.5.5. Підсистема звітів у WinCC Comfort.....	396
8.6. Підсистема календарного виконання.....	397
8.6.1. Загальні підходи	397
8.6.2. Підсистема календарного керування у Citect.....	398
8.6.3. Підсистема календарного керування у zenon.....	400
8.7. Підсистема керування доступом	403
8.7.1. Загальні підходи до керування доступом.....	403
8.7.2. Адміністрування облікових записів.....	405
8.7.3. Автентифікація	407
8.7.4. Авторизація.....	409
8.7.5. Блокування доступу за умовами	411
8.7.6. Підсистема керування доступом у Citect	411

8.7.7. Підсистема керування доступом у SCADA zenon	415
8.7.8. Підсистема керування доступом у WinCC Comfort.....	420
8.8. Мультимовна підтримка.....	422
8.8.1. Загальні підходи до керування доступом	422
8.8.2. Мультимовна підтримка в Citect	422
8.8.3. Мультимовна підтримка в zenon	424
8.8.4. Мультимовна підтримка у WinCC Comfort.....	426
Контрольні запитання	427
Список використаних джерел	429
РОЗДІЛ 9. Інтеграція з іншими засобами та кібербезпека	430
9.1. Мережні архітектури.....	430
9.1.1. Архітектура на базі одного ПК.....	430
9.1.2. Архітектура клієнт-сервер	431
9.1.3. WEB-клієнти та хмарні SCADA.....	433
9.1.4. Робота з мобільними застосунками та віддалений доступ.....	434
9.1.5. Мультисерверна архітектура та резервування.	435
9.1.6. Обмін між SCADA/HMI різних виробників	437
9.1.7. Мережні архітектури в Citect.....	438
9.1.8. Мережні архітектури в SCADA zenon	442
9.1.9. Мережні архітектури в операторських панелях SIMATIC Comfort	445
9.2. Інтегрування SCADA/HMI з верхніми рівнями керування	448
9.2.1. Місце SCADA/HMI в інтегрованій системі керування	448
9.2.2. Інтегрування зі SCADA та ієрархія устаткування	450
9.2.3. Використання ієрархії устаткування в Citect	453
9.2.4. Використання ієрархії устаткування в SCADA zenon.....	458
9.3. Historian.....	460
9.3.1. Загальні принципи	460
9.3.2. Proficy Historian.....	468
9.4. Промисловий Інтернет речей та інтеграція з хмарними застосунками.....	474
9.4.1. Промисловий Інтернет речей.....	474
9.4.2. Поняття про хмарні сервіси	480
9.4.3. Інтеграція АСКТП із хмарними сервісами.....	483
9.5. Основи кібербезпеки в АСКТП	489
9.5.1. Актуальність питання кібербезпеки в АСКТП	489
9.5.2. Основні загрози та напрями кібератак у системах АСКТП	493
9.5.3. Основні вразливості в системах АСКТП.....	501
9.5.4. Методи та засоби кібербезпеки АСКТП.....	503
9.5.5. Заходи для кіберзахисту в АСКТП	506
9.5.6. Захист даних з використанням криптографії	511
9.5.7. Віддалений доступ та використання VPN	515
Контрольні запитання.....	518
Список використаних джерел	521
РОЗДІЛ 10. Життєвий цикл SCADA/HMI	523
10.1. Загальні процеси життєвого циклу SCADA/HMI.....	523
10.1.1. Життєвий цикл SCADA/HMI в системі АСКТП.....	523
10.1.2. Розроблення технічних вимог або технічного завдання	525

10.1.3. Характеристика об'єкта автоматизації та вимоги до системи в цілому	527
10.1.4. Вимоги до функцій і задач.....	529
10.1.5. Вимоги до збирання та оброблення даних	529
10.1.6. Вимоги до відображення та супервізорного керування (людино-машинного інтерфейсу).....	523
10.1.7. Вимоги до тривог та подій.....	535
10.1.8. Вимоги до ведення журналу подій	540
10.1.9. Вимоги до архівування та виведення трендів	541
10.1.10. Вимоги до інших груп функцій.....	543
10.1.11. Реалізація ПЗ SCADA/HMI	544
10.1.12. Експлуатаційна документація	545
10.2. Керування життєвим циклом HMI відповідно до стандарту ISA-101.....	549
10.2.1. Засоби системи HMI.....	549
10.2.2. Загальна модель життєвого циклу HMI.....	551
10.2.3. Стадія розроблення системних стандартів.....	553
10.2.4. Стадія проектування	558
10.2.5. Стадія реалізації	561
10.2.6. Стадія експлуатації.....	563
10.2.7. Безперервні робочі процеси.....	564
10.2.8. Проведення навчання.....	564
10.3. Модель життєвого циклу систем тривожної сигналізації відповідно до ISA-18.2	566
10.3.1. Життєвий цикл організації функціонування тривоги	566
10.3.2. Методологія тривоги	568
10.3.3. Стадії проектування та розроблення	572
10.3.4. Експлуатаційні стадії	574
10.3.5. Вхідні точки до життєвого циклу та стадій системи тривожної сигналізації.....	574
10.4. Життєвий цикл проекту.....	576
10.4.1. Життєвий цикл систем	576
10.4.2. Процеси життєвого циклу.....	578
10.4.3. Водоспадна модель (Waterfall Model).....	579
10.4.4. V-model.....	581
10.4.5. Інкрементні моделі (Incremental Model).....	582
10.4.6. Еволюційні моделі (Iterative Model)	584
10.4.7. Методології розроблення Agile.....	585
10.4.8. Синтетична модель створення автоматизованих систем з формальними вимогами.....	589
Контрольні запитання.....	591
Список використаних джерел.....	593

Від автора

Використання програмних засобів SCADA/HMI та операторських панелей разом з ПЛК займає більшу частину моєї професійної діяльності. Як програмісту АСКТП, мені доводилося використовувати різні платформи, при



роботі з якими визначалися однакові функції засобів різних брендів. Як тренер, я з колегами читав курси підвищення кваліфікації як мінімум для 5-ти різних платформ, для деяких з них читаю і понині. Як лектор, вже кілька років я веду курс "Людино-машинний інтерфейс" для студентів Національного університету харчових технологій (НУХТ), а до цього проводив лабораторні роботи. І весь цей час мене не полишала думка про те, що варто написати посібник по темі

SCADA/HMI. Мій старший колега скептично відносився до цієї ідеї: "А про що ти будеш писати? Про конкретну платформу? Таких посібників достатньо!" Мої аргументи про те, що такі є щось загальне для всіх платформ і що варто це доводити до студентів та молодих спеціалістів вочевидь були не дуже переконливими. Хоч, думаю, з часом він також змінив свою думку стосовно цього.

Тригером до початку написання посібника стало неочікуване отримання лекцій з дисципліни "Людино-машинні інтерфейси". Оскільки написання посібника для курсу, що веду, було питанням часу, я вирішив це не відкладати і реалізувати свою давню ідею. Крім того, вже велися роботи по розділу людино-машинного інтерфейсу іншого посібника – "Автоматизація виробничих процесів". Він практично на 90% складає основу першого розділу цієї книги.

Теза "Писати посібник про конкретну платформу" стала червоною лінією, за яку не можна було переходити. Подібних посібників дійсно достатньо для різних платформ. Тим не менше, за останній десяток років вийшло кілька англійських книг по людино-машинним інтерфейсам та системам тривожної сигналізації, з якими варто ознайомитися не тільки студентам а і спеціалістам. Вони неодноразово згадуються в цьому посібнику і великою частиною лягли в основу деяких його підрозділів. Хоча, навіть при наявності таких фундаментальних праць з джерелами для теоретичної основи було досить складно. Інформацію по деяким підсистемам прийшлося збирати крупицями, а деякі, наприклад підсистема трендів, залишилися досить обмежені в теорії.

Не дивлячись на важливість теоретичної основи, розповідь про засоби SCADA/HMI та технології, які там використовуються, не можуть бути зрозумілими без прикладів реалізації. Я вирішив поєднати в посібнику загальне з конкретним, теорію з практикою. За цієї причини кожен розділ включає

теоретичні основи і реалізацію на кількох платформах, які були вибрані за рядом критеріїв:

- засоби, з якими довелося працювати неодноразово;
- до платформ входять як засоби SCADA так і HMI;
- платформи мають різні парадигми;
- дані платформи використовуються в лабораторних роботах в НУХТ;
- є консультативна підтримка;
- користуються попитом на ринку України.

При такій структурі посібника, "вирвавши" усі параграфи з прикладами платформи, посібник залишається цілісним. Це може дати додаткові можливості в майбутньому. Зокрема, так можна писати розділи для платформ, у формі додатків до посібника, або видавати інші редакції в комплекті теорія + платформа. Будь які форми подібних варіантів посібників можна розглядати.

Початково планувалося, що посібник буде в полегшеній редакції, орієнтований тільки на студентів. Наявність великої кількості цікавого для спеціалістів матеріалу зумовило систематизувати його і викласти у відповідних розділах. Так тривало до тих пір, поки розділення між "легким" і "важким", "обов'язковим" і "необов'язковим" стало неочевидним. Тому я вирішив зробити один посібник, замість двох. Але для спрощення читання на початку кожного розділу вказані рекомендовані параграфи для вивчення студентами. Інші підрозділи можуть вивчатися за необхідності.

Викладачам відомо, що робота над будь яким посібником значно розширює знання викладача. Робота над цим посібником змусила систематизувати всі мої знання, що були на той час. Але значно більше я отримав нової! Хоч було надзвичайно важко, а вихід посібника затягнувся більш ніж на рік, усі заплановані теми були висвітлені. У "заплановані" треба також включати ті теми, які з'являлися на пізніх етапах роботи над книгою. Кожне нове завдання було важким психологічним бар'єром, але воно було варте того.

Для більш якісної подачі матеріалу до рецензування посібника окрім основних рецензентів були залучені спеціалісти з ринку. Деякі з них консультували по темам, в яких у мене не було достатнього досвіду. Дякую за допомогу Ярославу Люлько, Максиму Савельєву, Олександрю Ніколенко, Андрію Гуменному, Олександрю Голінко, Володимирю Патрахіну та іншим, яких можливо не пригадав. Якби не ви – посібник би не вийшов в цьому обсязі і містив багато помилок та неточностей.

Хочу також подякувати Володимирю Миколайовичу Кушкову за його школу в цій та інших темах АСКТП. Хоч на багато тем у нас думки розходяться, основи SCADA/HMI були закладені саме за Вашого викладання та консультування. Окремо хочу подякувати Леоніду Юрійовичу Юрчуку, якого я вже не бачив кілька років за причини його важкої хвороби. Його матеріали з ТДА також сильно допомогли при написанні деяких розділів. Дякую також Ігорю Володимировичу Ельперіну, який створив на кафедрі атмосферу, яка сприяє професійному розвитку спеціалістів. Дякую усій команді і4и за допомогу в роботі над деяким розділами.

Дякую асоціації промислових підприємств автоматизації України (АППАУ, <https://appau.org.ua>), куди входить НУХТ, а також персонально Юрчаку Олександровичу Володимировичу за розвиток індустрії та просування актуальних міжнародних стандартів в Україні. Це відіграло велику роль як в налагодженні контактів з рецензентами так і у відкритті додаткових інформаційних ресурсів.

Дякую своїй сім'ї (дружині та синові) за те, що терпіли мою фактичну відсутність вдома при фізичній присутності.

Не дивлячись на те, що ми – автор, рецензенти і редактори робили все, щоб в тексті не було помилок та неточностей, я впевнений, що їх там залишилося достатньо, щоб завалити мене електронними листами ☺ . Пишіть мені на пошту з критикою, питаннями і пропозиціями rupena_san@ukr.net. Також мене можна знайти в соц-мережах Facebook та LinkedIn під своїм іменем.

Бажаю Вам приємного і головне корисного читива!

*З найкращими побажаннями,
Олександр Пупена*

ВСТУП

Сьогодні світ знаходиться на рубежі четвертої промислової революції, де автоматизація стала невід'ємною частиною не тільки технологічних процесів а і повсякденного життя людини. Автоматизація всіх процесів життєвого циклу продукту передбачає їх інтегрування, а кінцевий споживач відіграє важливу роль в керуванні цими процесами, як в якості замовника так і в якості постачальника споживчих даних. Останнє забезпечує можливість зворотного замикання ланцюжка постачань, а отже і всього життєвого циклу. Таке перетворення стало можливим за рахунок бурхливого розвитку програмно-технічних засобів, повсякмісної наявності Інтернету та зміна парадигми з «придбання активів» на «використання послуг».

Кожна людина має власний комп'ютер – телефон або смартфон, який супроводжує його практично повсюди та надає повсякмісний та повсякчасний доступ до всевітньої мережі Інтернет з розподіленою базою даних, знань та різноманітних сервісів. Це надає додаткові можливості не тільки в спілкуванні, а і в автоматизації рутинної роботи. За таких обставин "автоматизація всього" – це справа часу. Поява концепції Інтернету речей (IoT) – перша ластівка тотальної автоматизації. Вияснилося, що все навколо можна представити в цифровому світі у вигляді цифрового двійника, який буде зв'язуватися зі своїм фізичним активом через різноманітні інтерфейси. Це значить, що побудувавши сервіси взаємодії між цифровими двійниками можна організувати зв'язок між "речами" для забезпечення необхідної функціональності. Концепцію IoT розвинули і адаптували під промислові і інфраструктурні потреби, зробивши її надійною, робастною, захищеною. Так з'явилася концепція промислового Інтернету речей (IIoT), яка сьогодні є однією з фундаментальних технологій Індустрії 4.0.

За таких тенденцій людина ще більше віддаляється від самостійного виконання рутинних справ, при цьому інформаційне навантаження на неї значно збільшується. На промисловому виробництві, де автоматизація все більше замінює людину в рутинних операціях, є багато процесів, де оператор відіграє ключову роль. Це пов'язано з кількома факторами. По-перше, для неперервних виробництв характерні нечасті запуски і зупинки, які потребують великої кількості ручних операцій.

По-друге, на скільки б не були автоматизовані процеси, все одно трапляються нештатні ситуації, які не передбачені системою і потребують втручання людини в керування. Ці ситуації дуже суттєво впливають на економічні показники, і їх також намагаються автоматизувати принаймні в режимі поради. Для читача можливо цікаво буде познайомитися з технічними звітами по створенню стандарту ISA-106, що передбачає автоматизацію ручних процедур.

По-третє, не всі здатності людини поки що вдалося замінити машиною. Ситуаційна обізнаність сильно залежить від досвіду людини а також здатності

до аналізу. Все більше популярності набувають рішення з використанням інтелектуальних систем, що функціонують на основі аналізу великих даних (big data) та машинного навчання. Звісно, ці технології можуть сильно допомогти в аналізі ситуації, однак кінцеве рішення все одно залишаються за людиною.

По-четверте, творча складова, така як, наприклад, створення нових рецептів та способів виготовлення, поки-що непідвласна машині, тому у цій виробничій діяльності людина має вирішальне значення.

По-п'яте, обслуговування виробничого обладнання потребує участі людини.

Виходячи з вищевказаного, необхідно передбачати розробку автоматизованих а не автоматичних систем, тобто які передбачають участь людини в процесах керування. Тому кожна система повинна передбачати людино-машинний інтерфейс. Ще 20 років тому до засобів людино-машинного інтерфейсу відносилися тільки різноманітні кнопочні станції, індикатори, операторські панелі, комп'ютери зі спеціалізованим ПЗ. Сьогодні до них відносяться смартфони, планшети, засоби адитивної та віртуальної реальності.

Враховуючи вимоги до аналізу великої кількості вимірювань, їх агрегацію, що потребує збору з великої кількості розподілених засобів автоматизації, класичним залишається підхід з використанням системи супервізорного керування та збору даних (SCADA), а у якості концентраторів даних на підприємствах використовуються системи типу Historian. Поряд з цим, концепція ІоТ передбачає розподілений збір даних, їх обробку, збереження та аналіз на хмарних платформах. Великої популярності набувають так звані хмарні SCADA з WEB-інтерфейсом.

Сьогодні українські спеціалісти з автоматизації мають достатньо компетенцій для розробки АСКТП (автоматизованих систем керування технологічними процесами) з людино-машинними інтерфейсами в їх складі. Як правило, ці компетенції здобуваються під час роботи з конкретним інструментальним програмним забезпеченням (SCADA/HMI програми) від певного постачальника, а також шляхом переймання досвіду від колег по цеху. Автору посібника не відомі роботи українських колег, що присвячені саме темі розробки ІМІ та збору даних, які б розглядали сучасні підходи до розробки, функції та сучасні стандарти. Тому даний посібник може допомогти молодому спеціалісту і студенту в наступному:

- дізнатися про функції, які можуть надавати засоби SCADA/HMI;
- дізнатися про архітектури та принципи побудови SCADA/HMI;
- дізнатися про сучасні стандарти побудови SCADA/HMI та кращі практики, які в них закладені;
- дізнатися про сучасні тенденції в побудові людино-машинних інтерфейсів, які в найближчому майбутньому стануть стандартами де-факто;
- отримати рекомендації щодо розробки SCADA/HMI в складі АСКТП;
- отримати базові знання в побудові систем SCADA/HMI на базі підходів ІоТ;
- отримати базові знання в системах Historian;

- отримати базові знання в процесах інтегрування систем керування;
- отримати базові знання з кібербезпеки АСКТП.

Посібник може бути також цікавим спеціалістам, які вже мають досвід в розробці систем SCADA/HMI, так як вміщує опис стандартів, технологій та практик, які можуть бути невідомими їм.

Структура посібника орієнтована на вивчення матеріалів в окремій дисципліні "Засоби SCADA/HMI", з послідовним проходженням по розділам. Однак кожен розділ вміщує велику кількість додаткового матеріалу, а деякі мають довідниковий характер. У зв'язку з цим, на початку кожного розділу вказуються рекомендації щодо вивчення матеріалу. Більшість розділів орієнтовані на окрему підсистему, тому спеціалісти можуть ознайомлюватися з цікавими їм матеріалами вибірково.

Розділи включають приклади на засобах трьох постачальників: Citect (AVEVA Schneider Electric), zenon (COPA DATA), WinCC Comfort (операторські панелі SIMATIC Comfort). Це дає змогу отримати інформацію про способи реалізації тих чи інших функцій а також використати даний матеріал при підготовці до лабораторних робіт з курсу. Крім того, викладачі можуть адаптувати даний посібник під інші платформи, які використовуються в їх ВНЗ.

Перший розділ посібника присвячений опису SCADA/HMI з точки зору їх використання. У ньому показані функції, засоби, загальні принципи побудови та розробки. Цей розділ буде корисним всім інженерам, задіяним у виробництві. Він не перевантажений термінами, і не відкриває сутність процесів розробки. Тим не менше, для кращого розуміння інших розділів він рекомендується для читання усім.

Другий розділ вводить читача в структуру систем SCADA/HMI з середини а також означає послідовність етапів при розробленні. Він, по суті, є коротким путівником по процесам розроблення і разом з іншими розділами робить посібник цілісним.

У третьому розділі показані процеси, що задіяні при проектуванні бази даних реального часу – центрального ядра, навколо якого крутяться інші підсистеми. Тут читач може ознайомитися з налаштуванням тегів, їх зв'язку з підсистемою вводу/виводу та іншими підсистемами.

Четвертий розділ має довідниковий характер і містить опис роботи драйверів найбільш вживаних протоколів та стандартів взаємодії: Modbus, OPC DA, OPC UA, S7 та MQTT. Для початкового вивчення матеріалу в курсі SCADA/HMI можна ознайомитися тільки з першими параграфами, інші підрозділи варто читати за необхідності.

П'ятий розділ повністю описує технології і процеси задіяні в розробці підсистеми людино-машинного інтерфейсу. Значна частина матеріалу щодо функцій HMI дана в 1-му розділі, у цій частині графічний інтерфейс розглядається в контексті розроблення. Велика увага в розділі присвячена стандарту ISA-101.

У шостому розділі розглядаються усі функції та процеси, що задіяні при розробленні підсистем тривожної сигналізації. Ці підсистеми є дуже важливими

складовими будь якої АСКТП, тому розділ досить об'ємний за змістом і також може читатися, як окремий посібник.

У сьомому розділі описані процеси, задіяні при розробленні підсистеми трендів. Функціональна частина підсистеми описана в 1-му розділі. Тут приділяється увага конфігуруванню запису даних в тренди, та їх відображенню.

Функціональні можливості великої кількості SCADA/HMI вписуються в "джентльменський набір", що наведений в попередніх розділах і потребують досить значних затрат на їх розробку. Інші функції є вибірковыми, тобто залежать від особливостей виробництва чи вимог замовника. Ці додаткові функції даються у восьмому та дев'ятому розділах. У розділі 8 описані робота з рецептами, звітами, календарного виконання, генерування подій, робота зі скриптами та мультимовна підтримка. Крім того, у восьмому розділі описані функції підсистеми керування доступом, яка є обов'язковою для всіх засобів SCADA/HMI, але є недостатньо великою, щоб увійти в окремий розділ.

Враховуючи, що засоби SCADA/HMI як правило є частиною поєднаних між собою систем керування, окремий 9-й розділ присвячений інтеграції їх з іншими системами. Там розглядаються також питання кібербезпеки, віддаленого доступу, концепції промислового інтернету речей та використання Historian.

Останній, 10-й розділ, присвячений питанням життєвого циклу SCADA/HMI. Він повинен допомогти молодому спеціалісту при проектуванні, розробленню та налагодженню. Матеріал розділу вміщує практики з досвіду автору та колективу кафедри АКТСУ НУХТ в розробленні SCADA/HMI а також кращі практики, що закладені сучасними стандартами.

Посібник може бути корисним як студентам та спеціалістам з автоматизованих систем керування так і інженерам інших напрямків.

Для зручності відкриття електронних посилань а також додаткової інформації по посібнику можете скористатися сторінкою.

<https://sites.google.com/site/fieldbusbook/kniga-scada-hmi>



РОЗДІЛ 1.

ПРИЗНАЧЕННЯ ТА МОЖЛИВОСТІ ЛЮДИНО-МАШИННИХ ІНТЕРФЕЙСІВ ТА ЗБИРАННЯ ДАНИХ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

1.1. Місце засобів SCADA/HMI в структурі керування

1.1.1. Способи реалізації людино-машинного інтерфейсу

Більшість систем керування технологічними процесами автоматизовані, тобто такі, що потребують участі людини в процесі керування. Це зумовлено рядом факторів. Насамперед тим, що не завжди можна розробити алгоритм керування, за допомогою якого можна було б реалізувати повністю автоматичну систему керування. Для цього або недостатньо інформації про стан об'єкта керування, або в процесі керування можуть виникати непередбачувані ситуації, з якими не може впоратись існуюча система автоматизації. Крім того, навіть для традиційних і добре вивчених і відпрацьованих завдань автоматичного регулювання (стабілізує, програмне і слідкуюче) та завдань дискретного керування періодичними процесами, для яких існують надійні алгоритми і програми керування, виникає необхідність коригувати їх роботу.

У будь-якому випадку необхідно налагодити зв'язок, який би, з одного боку, давав можливість людині контролювати стан процесу та системи, а з іншого – забезпечував можливість втрутитися в процес керування. Тобто необхідно в системі керування передбачити *людино-машинний інтерфейс (HMI – Human-Machine Interface)*. Під "машиною" в цьому випадку розуміється система з усіх технічних засобів, що бере участь у процесі вимірювання, контролю, сигналізації та керуванні, а під "людиною" – оператор-технолог, який бере безпосередню участь у процесі керування. Отже, людина задіяна у процесі керування, тому вона є *частиною цієї системи* (автоматизованої системи керування технологічними процесами, АСКТП). Саме людина приймає найвідповідальніші рішення в процесі керування. Людино-машинний інтерфейс є частиною автоматизованого робочого місця (*АРМ*) оператора.

На відміну від прямого візуального контролю та безпосереднього керування регулюючими органами, в АСКТП процес отримання людиною інформації та ручне керування проходить опосередковано через засоби людино-машинного інтерфейсу, обчислювальні машини різного рівня складності (наприклад ПЛК), виконавчі механізми та датчики (рис. 1.1). Такий процес отримав назву *супервізорного керування*.

Для невеликих процесів людино-машинний інтерфейс може бути реалізований з використанням кнопок, перемикачів, різного типу індикаторів. Однак більшість технологічних процесів потребує значної кількості елементів відображення та ручного керування, а також різного типу самописців та

елементів сигналізації. У цьому випадку для реалізації людино-машинного інтерфейсу використовують *операторські панелі* (ще називають *панелі оператора*). Це невеликі мікропроцесорні засоби з текстовим або графічним дисплеєм для відображення інформації та елементами керування – кнопками або/та сенсорним екраном. Передня частина таких панелей захищена від пилу, бруду, вологи, що дає змогу оператору керувати процесом безпосередньо біля об'єкта. Для захисту іншої частини панелі її розміщують у спеціальному щиті.

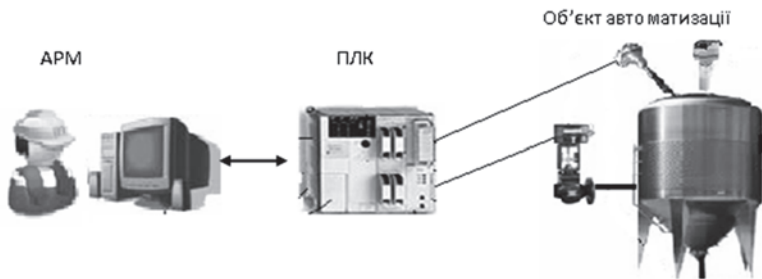


Рис. 1.1. Супервізорне керування об'єктом

Для великих АСКТП панель оператора не забезпечує можливості контролю за всім процесом, архівування великої кількості параметрів, зв'язку з іншими системами керування процесами та виробництвом у цілому. Ці функції можуть бути реалізовані засобами людино-машинного інтерфейсу, побудованим на базі комп'ютерів зі спеціалізованим програмним забезпеченням. На виробництві такі автоматизовані робочі місця оператора-технолога розміщуються, як правило, в спеціально обладнаних диспетчерських, які захищають комп'ютери від пагубного впливу виробничих умов та надають можливість нормально працювати операторам. У диспетчерських приміщеннях для керування об'єктами з великим обсягом інформації застосовують також настінні екрани, інколи комбінуючи їх з пультами та щитами керування.

Для реалізації роботи людино-машинного інтерфейсу необхідно забезпечити двосторонній обмін даними:

- збирати інформацію про стан технологічного устаткування і значень технологічних параметрів;
- передавати команди оператора в зворотному напрямку.

При побудові комплексної АСКТП на базі програмованих контролерів цими процесами займаються *SCADA* (Supervisory Control And Data Acquisition – супервізорне керування і збирання даних). Тобто організація роботи АРМ складається, як мінімум, з двох складових: *SCADA* – для збирання даних та керування; *HMI* – для реалізації людино-машинного інтерфейсу.

У АСКТП, побудованих на базі *DCS* (Distributed control system – системи розподіленого керування), концептуальна база даних процесу є єдиною як для керування процесом у реальному часі, так і для візуалізації. Тому окремо функція *SCADA* не виділяється, але процес створення людино-машинного інтерфейсу практично такий самий. Надалі будемо розглядати тільки системи, побудовані за принципом: контролери+*SCADA*+*HMI*.

1.1.2. Засоби розроблення автоматизованих робочих місць

Програмне забезпечення для комп'ютерів АРМ можна створити на базі універсальних середовищ та мов програмування. Такий підхід дає змогу створити систему з будь-яким функціоналом за бажанням замовника, однак він має ряд недоліків. По-перше, розроблення проектів займає багато часу і потребує залучення спеціалістів з комп'ютерного програмування. По-друге, відлагодження такого проекту триває досить довго, а помилки в роботі програм нерідко проявляються протягом усього життєвого циклу системи. По-третє, такі програми важко супроводжувати і вносити туди зміни, оскільки це потребує постійного контакту з людиною-розробником.

Альтернативою наведеному вище підходу є використання спеціального програмного забезпечення, яке значно спрощує розроблення прикладного програмного забезпечення для реалізації АРМів різного призначення. Таке інструментальне програмне забезпечення належить до класу *SCADA/HMI*. Основний принцип розроблення з використанням цих інструментів – *"Конфігурування замість програмування"*, що різко зменшує витрачений час та вірогідність помилок, адже функціональність АРМів у своїй базовій частині мало залежить від особливостей виробництва. Програмні пакети для розроблення АРМів на базі комп'ютерів прийнято називати *"SCADA-програмами"*, або просто *"SCADA"*, а для панелей оператора – *"HMI-програмами"*, або просто *"HMI"*. Надалі ми будемо використовувати загальний термін, який об'єднує ці поняття – програми *SCADA/HMI*. У світі налічуються сотні компаній, що активно займаються розробленням і розповсюдженням програм *SCADA/HMI*.

Необхідно розрізнити програмне забезпечення *SCADA/HMI*, яке функціонує на автоматизованому робочому місці оператора, і набір інструментальних програмних засобів, призначених для розроблення такого прикладного програмного забезпечення (рис. 1.2). *Середовище розроблення (Design-Time)* використовується на стадії створення системи і містить набір різних редакторів. Як правило, ця програма виконується тільки на комп'ютері розробника (так званій *інженерній робочій станції*). *Середовище виконання (Run-Time)* містить усі виконавчі підсистеми для реалізації функцій, розроблених виробником *SCADA/HMI*. Воно слугує для запуску і виконання створеного проекту на комп'ютері автоматизованого робочого місця в режимі м'якого реального часу. На самому підприємстві обов'язковим є наявність середовища виконання проекту.

Результат розроблення – набір пов'язаних файлів, які називають *проектом*. За аналогією із середовищем розроблення і виконання у більшості *SCADA/HMI* проект може бути в 2-х варіантах (див. рис. 1.2):

- *вихідний проект*, де зберігаються проектні дані у формі, доступній для редагування;
- *скомпільований проект*, який вміщує код, який може інтерпретувати середовище виконання і недоступний для редагування людиною.

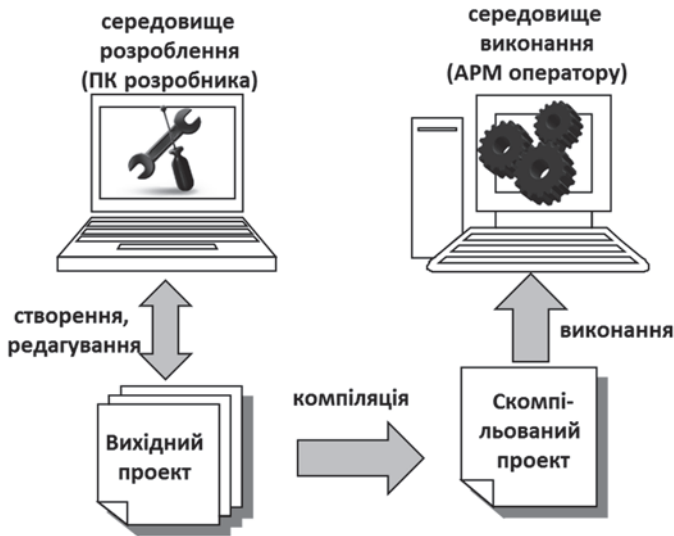


Рис. 1.2. Порядок створення, компіляції та виконання проекту

Для функціонування автоматизованої системи в режимі операційної роботи необхідне тільки середовище виконання та скомпільований проект. Однак, якщо в майбутньому планується вводити зміни в проект, підприємство повинно домовитися з розробниками про передачу також вихідного проекту.

Слід зазначити, що середовище виконання для комп'ютерів є платним і ліцензується залежно від функціональних можливостей та кількості змінних процесу, які задіяні в контролі та керуванні. Середовище виконання для панелей оператора вже вбудоване в неї і входить у вартість устаткування. Середовище розроблення може бути як платним так і безкоштовним, залежно від особливості фінансової політики виробника SCADA/HMI.

Розділення SCADA/HMI на два середовища є загальноприйнятою практикою, але не правилом. Ряд продуктів підтримує різні режими роботи одного середовища. Деякі базуються на WEB-технологіях, де середовищем виконання по суті є ВЕБ-сервер (серверна частина) і браузер (клієнтська). Тим не менше, надалі в посібнику дотримуватися саме таке розділення, як найбільш вживане.

1.1.3. Функціональні можливості середовищ виконання SCADA/HMI

Більшість програм SCADA/HMI має типовий набір функціональних можливостей для реалізації завдань АРМів:

- збирання інформації про контрольовані технологічні параметри (даних реального часу) з контролерів та засобів віддаленого введення/виведення;
- графічне представлення стану технологічного процесу і устаткування в зручній для сприйняття формі у вигляді мнемосхем;
- вторинне оброблення інформації (масштабування, обмеження вводу, перевірка коректності тощо);

- приймання команд оператора і передача їх на контролер, або засіб віддаленого виведення;
- збереження даних реального часу в архівах даних і графічне представлення історичної інформації в зручній для сприйняття формі у вигляді графіків, гістограм тощо;
- сповіщення експлуатаційного і обслуговуючого персоналу про виявлені аварійні події в технологічному процесі і програмно-апаратних засобах;
- фіксація в електронних журналах виникнення аварійних подій у контрольованому технологічному процесі та дій експлуатаційного персоналу;
- формування звітів на основі архівної інформації, тривог та даних реального часу;
- обмін інформацією з автоматизованими системами керування виробництвом та підприємством у складі інтегрованих систем керування;
- виконання певної логіки оброблення даних з використанням вбудованих мов, наприклад, VBA;
- захист від несанкціонованого доступу до компонентів і файлів;
- формування, записування, читання та збереження даних у вигляді рецептів;
- створення оперативних календарних планів керування устаткуванням.

Налаштування та робота цих функцій розглянуті в розділах 2 – 9 даного посібника. У цьому розділі наведено тільки основні характеристики, які варто знати як розробникам, так і користувачам SCADA/HMI.

1.2. Людино-машинний інтерфейс (HMI)

У цьому підрозділі HMI розглядається з точки зору оператора. Детальніше особливості розроблення HMI розглянуто в розділі 5.

1.2.1. Загальний вигляд графічного HMI

Загальний вигляд графічного людино-машинного інтерфейсу (HMI) суттєво залежить від характеру технологічного процесу, прийнятих стандартів (корпоративних, галузевих) на побудову автоматизованих систем та індивідуальних потреб замовника (наприклад, технологів, інженерного персоналу). Сьогодні найбільш передові досягнення у області HMI знайшли відображення у стандарті ISA-101, який детально розглядається 5-му розділі цього посібника. Далі у цьому підрозділі наводяться приклади найбільш типових підходів до побудови графічного інтерфейсу АРМа.

Графічна підсистема АРМа оператора має багатовіконний інтерфейс з можливістю відображення у вікнах *дисплеїв (display)* процесу, трендів, тривог та іншої службової інформації. Враховуючи, що вся доступна інформація не може вміститися в одному вікні, в один момент відображається тільки один дисплей