

IEC 61512

Стандарт керування
порційним виробництвом:
сучасний стан та перспективи в Україні



Основні
положення
стандарту



Огляд
завдань
та проблем



Досвід
використання
стандарту

ТЕХНІЧНИЙ КОМІТЕТ 185
«ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИЗАЦІЯ»

Олександр Пупена
Роман Міркевич
Олег Клименко
Альона Шишак

СТАНДАРТ КЕРУВАННЯ
ПОРЦІЙНИМ ВИРОБНИЦТВОМ:
СУЧАСНИЙ СТАН
ТА ПЕРСПЕКТИВИ В УКРАЇНІ

КИЇВ
2019

ЗМІСТ

Анотація	4
Вступ	5
1. Опис завдань та проблем при керуванні порційним виробництвом	8
2. Основні положення стандарту ІЕС 61512	12
3. Кому потрібен стандарт ІЕС 61512	20
4. Світовий досвід використання	24
5. Опис проблематики українського ринку в обізнаності, сприйнятті та впровадженні стандарту ІЕС 61512	30
6. Досвід використання стандарту ІЕС 61512 в проектах та в навчанні	37
6.1. Власний досвід впровадження у проектах	37
6.2. Про досвід впровадження інших колег	47
6.3. Використання в навчальному процесі	49
Висновки	52

АНОТАЦІЯ

Сьогодні в Україні інженерія систем керування все більше нагадує творчий процес, аніж систему відлагоджених процесів з керування життєвим циклом. У той же час, у всьому світі розробка систем керування та їх супроводження проводиться з урахуванням великої кількості стандартів, в яких закладені кращі практики, що неодноразово перевірені та постійно покращуються. Серед стандартів, які складають основу для створення високоефективних систем керування технологічними процесами є ІЕС 61512. Він розроблений для порційних виробництв, як найскладніших з точки зору систем керування. Технічний комітет ТК 185 займається перекладом та імплементацією в Україні даного стандарту, але цього замало для його реального використання. Досвід спілкування авторів даної книги з різними представниками виробничих та інжинірингових компаній показав серйозні проблеми з необізнаністю та скептичним відношенням до сучасних міжнародних стандартів взагалі, і ІЕС 61512 зокрема. На думку членів технічного комітету це пов'язано не тільки з відсутністю локалізованих версій стандарту, а і зрозумілого цільового матеріалу для різних представників ринку. Ціль даної книги якомога простішими словами показати призначення стандарту ІЕС 61512, його зміст, кому він може бути корисним а також досвід використання його у світі та в Україні. Автори сподіваються, що дана біла книга спонукатиме читачів до більшого зацікавлення стандартом та впровадження його елементів у своїй професійній діяльності.

ВСТУП

Сьогодні українські автоматники отримують свої знання від старших колег, які у свою чергу переймають їх у своїх попередників, єдині хто втручається в цей ланцюг – це засоби вищої освіти (ЗВО) та бренди, які проводять тренінги для роботи зі своїми засобами автоматизації. Нам невідомі в Україні курси від брендів, які б навчали тому, як правильно проводити інжинірингові процеси, якими стандартами і практиками при цьому користуватися. Не найкраща ситуація щодо обізнаності в стандартах і в ЗВО. Все це призводить до скептичного ставлення спеціалістів до стандартів і повної необізнаності щодо їх необхідності і призначення.

Ще років 5 тому ми, автори цієї книги, знаходилися у такому ж стані. Поштовхом до ознайомлення зі стандартом став ряд послідовних подій:

1. робота над алгоритмічно складним об'єктом порційного виробництва, на впровадження якого було затрачено надмірно багато часу;
2. участь у конференції АППАУ, на якій одному зі спікерів задали питання «Чому при розробці системи керування Ви не скористалися існуючими міжнародними стандартами ISA?»;
3. робота над проектом, у якому необхідно було розробити набір стандартизованих структур для ПЛК з метою їх інтегрування з верхнім рівнем.

Саме цей збіг обставин примусив нас детальніше ознайомитися зі стандартом. Робота над проектом стандартизації структур для інтегрування з верхнім рівнем привела до ознайомлення зі стандартами ISA-88 та ISA-95, про які згадали на конференції. Уже робота над самим стандартом почала давати рішення на питання, на які не було готової відповіді під час розробки системи керування алгоритмічно складним об'єктом. Слід відмітити, що у пізніших проектах алгоритми були ще складнішими, але використання стандартних підходів значно зменшили трудомісткість задачі, а також час розробки та впровадження. У стандарті ми знайшли відповіді на питання, які стосуються не тільки керування порційним виробництвом.

При детальному вивченні стандарту виникали двоякі думки: «Це круто!» і «На скільки ми відстали!». Звісно, ми не можемо надто узагальнювати цю ситуацію на весь ринок, але знаємо, наше оточення перебувало (і перебуває) у тій самій необізнаності. Практично четверть століття ці документи використовуються у всьому світі у якості посібників з побудови

високоєфективних систем керування, а ми продовжували винаходити свої велосипеди, дуже цим пишатися і змагатися зі своїми колегами по цеху.

І от після того, як стандарт став частиною нашого професійного життя, ми почали його пропагувати як дійсно кращі практики. Ми побачили, що кілька колег, які очевидно були у тій самій позиції що і ми, зацікавилися і стали також наслідувати ці практики. Однак це мізерна частина порівняно з масою дійсно дуже кваліфікованих спеціалістів, які м'яко кажучи, скептично віднеслися до нього. «Це нам не потрібно», «це нікому не потрібно», «це занадто складно» і т.п. Донесення ідей знизу не особливо допомогло його масовому впровадженню, і ми вирішили спробувати розхитати ринок зверху. Однак, як і варто було очікувати «Замовнику не потрібна дріль, йому потрібні дірки в стінах», тому ми вирішили розділити просвіту на два напрямки: для замовника і для розробника.

Якщо дійшовши до цього місця Ви не знаєте, чи варто читати цю книгу далі, спробуйте відповісти собі на кілька питань:

Автоматникам (спеціалістам з автоматизації):

- Чи є у Вас складнощі з реалізацією послідовностних (крок-за-кроком) алгоритмів (не тільки в порційному виробництві)?
- Чи є у Вас невирішені питання класифікації об'єктів та їх співвідношення в програмі керування?
- Чи потрібен Вам єдиний каркас (framework) для автоматизації порційних виробництв?
- Чи хочете Ви, щоб розроблена вами система керування відповідала міжнародним стандартам?
- Чи реалізуєте, або чи можете Ви реалізувати систему простежуваності процесу?
- Чи реалізуєте, або чи можете Ви реалізувати систему керування рецептами зі зміною технології приготування?
- Чи впроваджуєте або збираєтесь впроваджувати виробничі KPI?
- Чи хочете Ви прискорити час впровадження алгоритмічно складних об'єктів?

Виробничникам (представникам кінцевого замовника):

- Чи реалізована у Вас система простежуваності технологічного процесу?
- Чи реалізоване у Вас керування рецептами, де можна змінювати технологічну програму?
- Чи є у Вас проблеми з різними підходами до керування на вашому виробництві?

- Чи є необхідність інтегрування на Вашому підприємстві різних систем АСКТП з верхнім рівнем?

Якщо хоча б на одне питання Ви дали стверджувальну відповідь, ми радимо затратити трохи свого часу на прочитання цієї книги. Для кращого розуміння, спочатку ви ознайомитесь з тим, що такого особливого в порційному виробництві і чому саме для систем керування цим типом був створений окремий стандарт. Далі читача очікує розділ з описом основних вижимок зі стандарту, який показує фундаментальні основи, закладені в нього. Після ознайомлення зі стандартом, спробуємо відповісти на запитання «Кому і навіщо потрібен стандарт» і «Який досвід його використання у світі». Ми провели опитування ринку щодо стану справ у керуванні порційним виробництвом та обізнаності в стандарті в Україні, результати якого також викладені у даній книзі. Ми також поділимося нашим досвідом використання стандарту, досвідом наших колег, а також які спостереження та висновки ми зробили при читанні курсів по Batch Control.

1. ОПИС ЗАВДАНЬ ТА ПРОБЛЕМ ПРИ КЕРУВАННІ ПОРЦІЙНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

Приймаючи участь у розробці систем керування, нам неодноразово довелося спілкуватися з різними представниками (стейкхолдерами) виробництва: начальниками КВПіА, головними технологами, головними інженерами, начальниками виробництва і т.п. Також ми маємо постійні контакти і з представниками інтеграторів та інжинірингових компаній. Мусимо констатувати, що більшість з них не можуть відрізнити ділянки підприємства з порційним виробництвом від неперервного чи дискретного. На нашу думку, перш за все це пов'язано з тим, що їм ніколи не доводилося займатися такою класифікацією, бо не було на то причин. Іншим фактором, що особливо зустрічається у автоматників, є сприйняття виробничої діяльності через нерозривність технологічного процесу і устаткування, яка є характерною для неперервних виробництв. Зрештою, ми самі колись так сприймали виробництво ☺. Саме тому ми вважаємо, що варто тут навести особливості порційного виробництва та задачі, які ставляться перед розробниками систем автоматизації.

Під *порційним виробництвом* (Batch Production) розуміється спосіб виготовлення продукції, за якого певна порція матеріалу (*партия, batch*) проходить поступову покрокову обробку відповідно до технології, що означена в рецепті. Наявність різних рецептів (регламентів) виготовлення ще не робить установку або частину її устаткування (обладнання) виробництва порційним. Ключовим моментом тут є проведення кожної технологічної дії над усією порцією (партією) матеріалу одночасно. Тому, скажімо, ємність, в якій готується суміш (змішується, проходить термічну обробку) відноситься до устаткування порційного виробництва. А пастеризаційна установка (набір теплообмінників в потоці) – ні, так як порція проходить через установку поступово, і в один момент часу обробляється тільки її частина.

Слід зазначити, що установка для виробництва одного і того самого продукту може бути як порційного так і неперервного типу. «Порційність» має певні переваги та недоліки порівняно з неперервною обробкою. Неперервний спосіб потребує обробки в потоці, тобто усі технологічні процеси проходять на різних ділянках установки. Це дає велику продуктивність, однак потребує додаткового обладнання для змішування, рецир-

куляції і т.д (див.рис.1). Такий спосіб виробництва передбачає постійного виготовлення продукції (великих партій) за однією технологією, тому запускається на досить тривалий період (тижні, місяці). Найбільш важкими для такого виробництва з точки зору керування є запуски, заплановані та нештатні зупинки.

Порційний спосіб передбачає проходження технологічних процесів розподілено не за потоком, а за часом. Найбільшим недоліком такого виробництва є його менша продуктивність порівняно з неперервним. Але «порційність» дає певні переваги:

1. як правило використовується менша кількість обладнання, ніж для неперервного виробництва;
2. невеликі розміри партій і відповідно час виготовлення;
3. одне і те саме обладнання можна використовувати для виробництва різних продуктів.

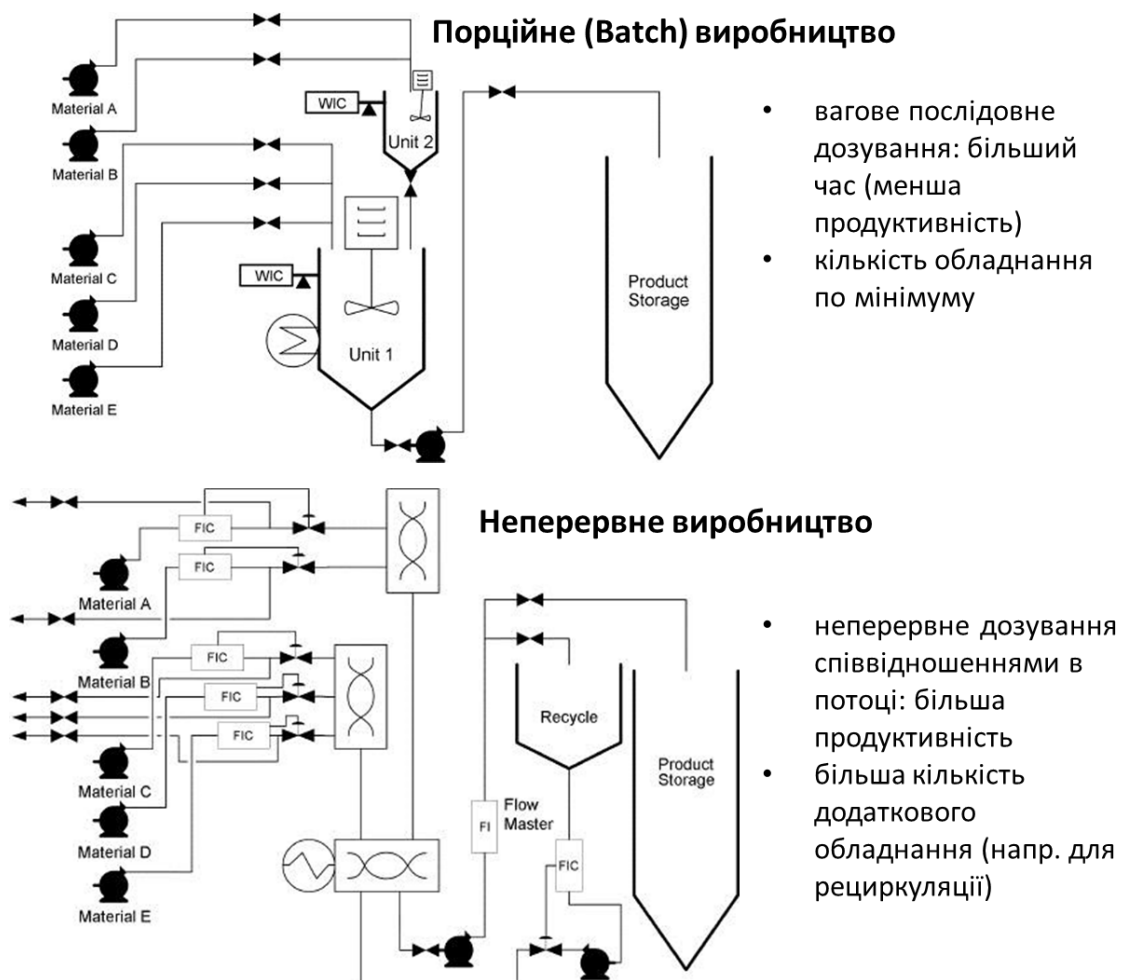


Рис. 1. Порівняння порційного виробництва з неперервним

Таким чином порційне виробництво дає можливість на одному і тому самому устаткуванні виробляти невеликі партії продукту за різними рецептами. Це основа гнучкого виробництва, яка надає можливість швидко підлаштуватися під кон'юнктуру ринку. Не дивлячись на такі потенційні переваги самого типу виробництва, для максимального «вижимання» з нього усіх можливостей потребується просунута система керування. Деякі методи керування неперервним виробництвом тут можуть бути просто неефективними. Які ж додаткові завдання повинна реалізовувати система керування порційним виробництвом? Зупинимося на найбільш важливих.

1. Можливість виготовлення продукції на будь-якому устаткуванні, що фізично на це здатне. Припустимо, якийсь апарат фізично може проводити усі необхідні технологічні дії для виготовлення продукції. Цього повинно бути достатньо, щоб використовувати його в системі керування. Однак, якщо рецепт продукту в системі не закладений, керування виготовленням можна зробити тільки вручну. Поява нового рецепту потребуватиме нового технологічного процесу, який по суті фізично може бути проведений на наявному устаткуванні, але потребує підтримки зі сторони системи керування цим устаткуванням. Задача спрощується, якщо в рецептах продукту змінюються тільки технологічні параметри, які можна змінювати за зміни рецепту. Але не тривіальною задачею є розробка системи керування, яка б підтримувала зміни послідовності кроків, зміни додаткових умов, або необхідність паралельного виконання технологічних дій, оскільки це потребує нового означення технологічної програми.

2. Планування та перепланування. Гнучкість порційного виробництва потребує швидкого планування. Навіть якщо на виробництві є система MES, як правило, вона забезпечує планування до рівня робочого центру, але не до технологічного устаткування всередині нього. Крім того, постійні зміни умов проходження процесу в середині робочого центру потребують перепланування.

3. Координація ручних та автоматичних операцій. Порційне виробництво нерідко потребує використання ручних операцій, наприклад дозування або проведення замірів. Система керування повинна передбачати такі дії, зокрема формувати завдання для операторів відповідно до рецепту (наприклад, у вигляді повідомлень), отримувати підтвердження виконання та робити відмітки в журналі. Навіть якщо технологічні дії відбуваються повністю в ручному режимі, їх координація та фіксація у виробничих журналах має також проводитися системою керування.

4. Простежуваність процесів. Простежуваність виробництва включає три складові:

- 1) простежуваність постачальника (зовнішня простежуваність, крок назад);
- 2) простежуваність процесів (внутрішня простежуваність);
- 3) простежуваність покупця (зовнішня простежуваність, крок вперед).

Внутрішня простежуваність потребує попередньої фіксації параметрів проходження всіх технологічних процесів виробництва та задіяного при цьому устаткування з можливістю їх визначення за сировиною (пряме простежування) або за продуктом (зворотне простежування). Система керування повинна забезпечувати фіксацію виконання усіх технологічних операцій (у тому числі ручних) та виведення їх у звіти за ідентифікатором партії продукту або за ідентифікатором партії сировини.

5. Інтегрування з верхнім рівнем. На відміну від неперервних виробництв, для вищих рівнів керування (MES/MOM, або ERP) недостатньо передавати тільки агреговані та усереднені значення основних виробничих параметрів. Необхідно надавати дані про партію, зокрема про рецепт та технологічні параметри, при яких вироблялась партія. У свою чергу система керування виробничими операціями (MOM) повинна також передавати календарний план виготовлення партій, який узгоджений зі станом виробничого устаткування.

Реалізація наведених вище завдань потребує достатньо трудомістких процесів як при розробці, так і супроводженні систем керування. Вирішення їх «з нуля» навіть з використанням сучасних засобів автоматизації призводить до затяжних, а інколи невдалих проектів. З точки зору замовника, такі проекти можуть призвести до створення унікальних рішень АСКТП для кожної технологічної ділянки, що ускладнює обслуговування та інтеграцію. Замість цього, можна використовувати кращі практики затверджені в стандарті ISA-88 та його аналозі IEC-61512, які вже існують більше 20-ти років. Вони повністю означають правила побудови таких систем із забезпеченням усіх наведених вище додаткових функцій. Цей стандарт перевірений на багатьох порційних і не тільки виробництвах. Це значить, що використання його є фундаментом для розробки високоефективних систем керування порційним виробництвом. Знання його основ повинно бути обов'язковим для всіх автоматників, а також для технологів, які розробляють та супроводжують рецепти порційного виробництва.

2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СТАНДАРТУ ІЕС 61512

Щоб зрозуміти, як саме стандарт ІЕС 61512 дозволяє добитися виконання тих чи інших заявлених функцій, і пояснити яким чином він допоміг при впровадженні нам та нашим колегам по цеху, треба хоч поверхово розглянути його фундаментальні засади. Наведений нижче текст ніяк не претендує на повноту викладення матеріалу, а радше служить в якості дуже коротких нотаток. Ми рекомендуємо ознайомитися з самим стандартом, зокрема з його першою частиною, переклад якої українською мовою доступний за [посиланням](#).

Перша частина стандарту вийшла в світ у 1995-му році, як ANSI/ISA-S88.01-1995 «Batch Control Part 1: Models and Terminology». Через кілька років стандарт ISA ([International Society of Automation](#)) був затверджений на міжнародному рівні як ІЕС 61512-1. З того часу вийшло ще кілька частин стандартів ISA та їх дзеркальних варіантів ІЕС, зокрема:

- ІЕС 61512-1 (ANSI/ISA-S88.01-1995) Batch Control Part 1: Models and Terminology.
- ANSI /ISA-88.00.01 -2010 Batch Control Part 1: Models and Terminology (Update 2010).
- ІЕС 61512-2 (ANSI/ISA-88.00.02) Batch Control Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages (2001).
- ІЕС 61512-3 (ANSI-ISA-88.00.03) Batch Control Part 3: General and Site Recipe Models and Representation (2004).
- ІЕС 61512-4 (ANSI/ISA-88.00.04) Batch Control Part 4: Batch Production Records (2006).
- ANSI/ISA-88.00.05 Batch Control Part 5: Implementation Models & Terminology for Modular Equipment Control – на етапі розробки
- ISA-TR88.00.02 Machine and Unit States: An Implementation Example of ISA-88 (2008).
- ISA TR88-95.00.01 ISA-88/95 Technical Report Using ISA-88 and ISA-95 Together.

Як видно, кілька документів ISA так і не знайшли свого відображення в ІЕС. Зокрема, оновлена версія 2010-го року. Тим не менше, фундаментальні основи 2-х версій залишаються незмінними, саме про них описано нижче.

Розділення типів керування. Основним, можна сказати навіть фундаментальним, принципом побудови систем керування порційним виробництвом згідно стандарту є розділення функцій керування на дві взаємопов'язані групи:

- керування технологічним процесом, що відповідає за виконання послідовності технологічних дій;
- керування устаткуванням, що відповідає за виконання устаткуванням його функцій.

Таке розділення пов'язано з тим, що номенклатура продуктів постійно змінюється, а отже виникає необхідність в створенні чи зміні перебігу технологічних процесів: додаються нові рецепти, змінюються їх властивості, видаляються старі. При цьому устаткування може залишатися тим самим і функції його також не змінюються. Може бути й інша ситуація, коли додається нове устаткування (і система керування), яка повинна вміти використовувати існуючі рецепти.

розділення типів керування: функції керування технологією приготування продукту і функцій керування устаткуванням

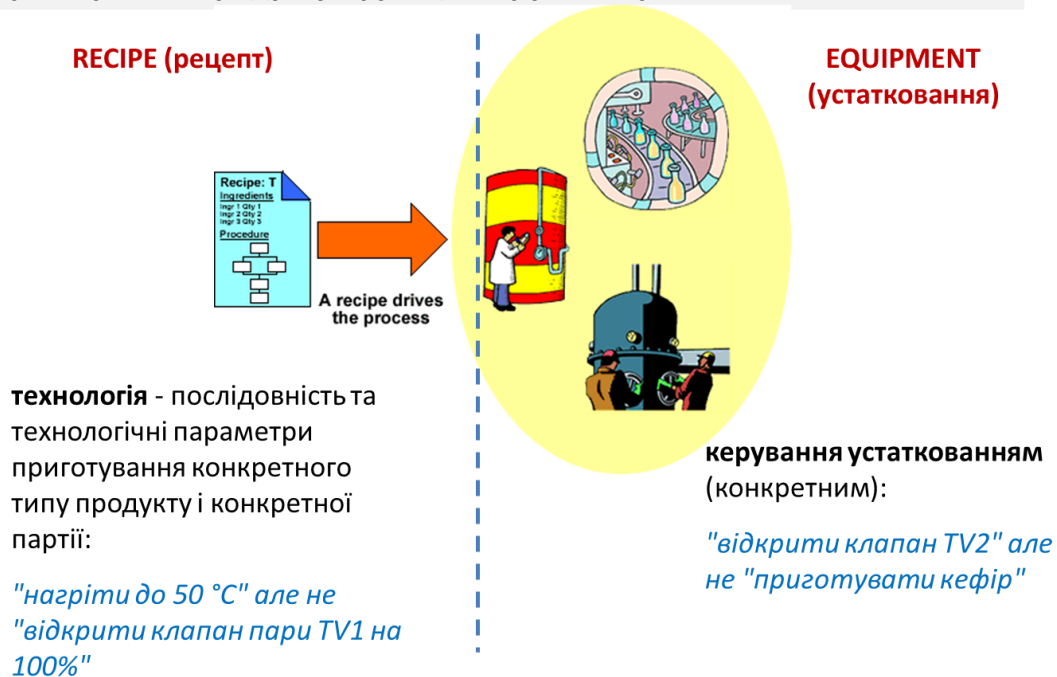


Рис. 2. Розділення функцій керування

Під керуванням технологічним процесом розуміється вся необхідна послідовність технологічних дій (*процедура*) з використанням заданих параметрів (*формула*), які описуються в *рецепті* для конкретного продукту. Якщо дуже спрощено, то в системі керування устаткуванням реалізовані

найменші *процедурні елементи* рецепту (*етапи*) типу «нагріти», «набрати», «додати» «перемішати», «охолодити». Вони будуть направлятися на виконання рецептом, який до цього створив технолог. Назва таких етапів буде співпадати для всього устаткування, але реалізація може бути зовсім різною (Рис. 3).

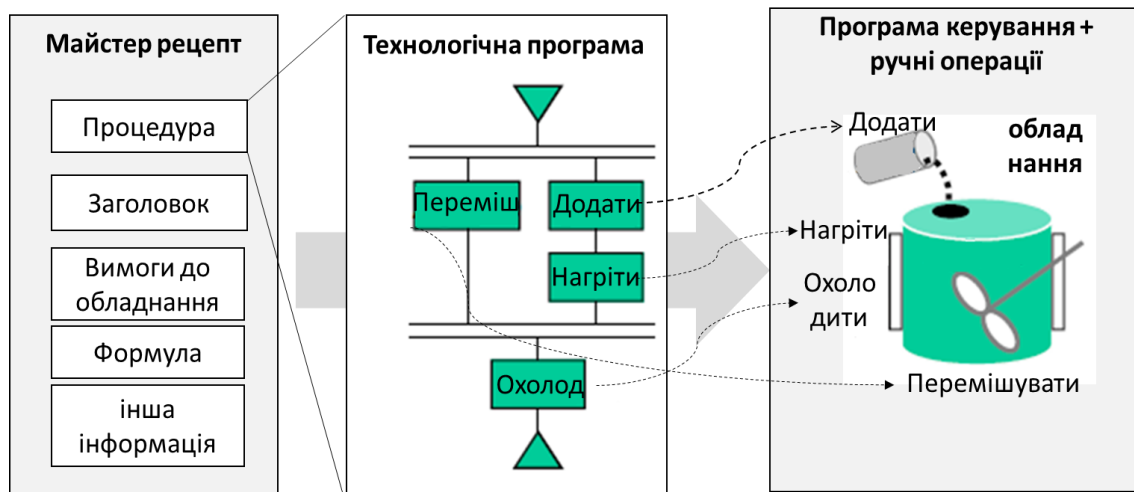


Рис. 3. Від рецепту до устаткування

Тобто технолог створює процедуру рецепту, набираючи технологічну програму з блоків (етапів), тестує, зберігає у бібліотеці рецептів і випускає у використання на виробництві. Така програма може мати вигляд як таблиця, або як діаграма (Рис. 4). Послідовність роботи з рецептом можна подивитися, наприклад, за цим [посиланням](#).

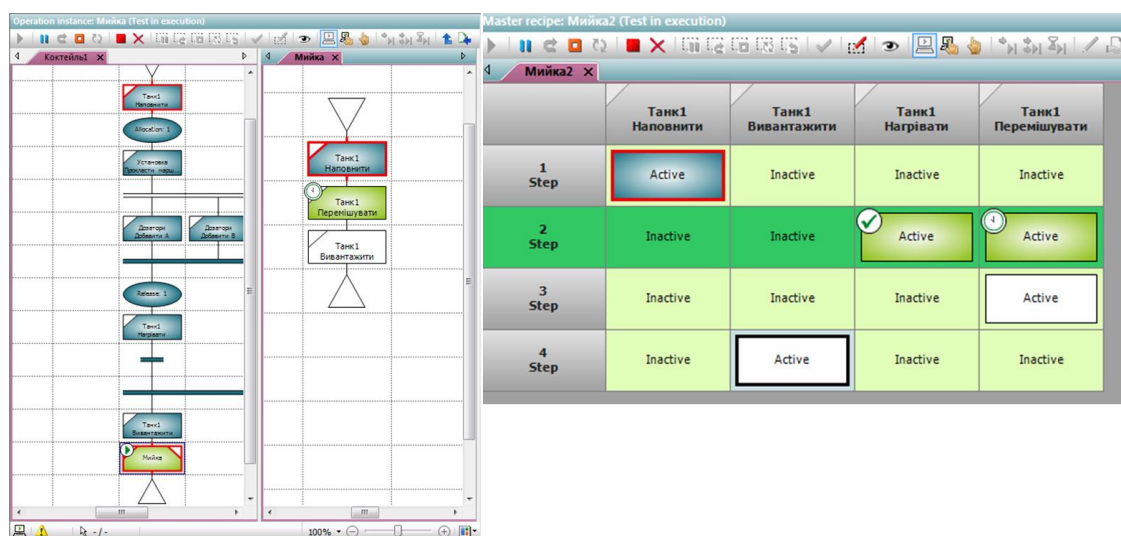


Рис. 4. Приклад вигляду керівного рецепту при виготовленні партії продукції

Рецепти можуть додаватися, видалятися, змінюватися, але незмінними будуть залишатися будівельні блоки, які будуть частиною системи керування устаткуванням. Зрештою, якщо етапи на якомусь обладнанні мають виконуватися в ручному режимі, рецепти будуть ті самі, зміниться тільки реалізація керування устаткуванням.

Керування партіями. Порційне виробництво виготовляє партію продукту за певним рецептом, який створює технолог (або хтось за його вказівкою). Цей рецепт називається *майстер рецептом*. Виготовлення конкретної партії продукту може мати певні особливості, зумовлені рядом факторів. Тому для кожної партії створюється унікальний *керівний рецепт*, який за необхідності може змінюватися. Уся інформація про історію виготовлення партії зберігається з посиланням на керівний рецепт. По суті, він відповідає за конкретну партію, тобто керує нею і залишає свій слід в архіві для простежуваності.

Керування станами та режимами. Для виготовлення конкретної партії з майстер рецепту створюється керівний рецепт,значається йому унікальний ідентифікатор партії (Batch ID), змінюються параметри і запускається на виконання процедура рецепту. Завершення процедури керівного рецепту призводить до завершення виготовлення партії, а уся інформація залишається в історії. Така послідовність роботи процедури («початок» → «виконується» → «завершено») буде в ідеальному випадку. А що, якщо щось піде не так при виготовленні партії? Що, якщо під час виготовлення партії:

- не вистачатиме сировини або енергії?
- потрібно призупинити роботу на певний час?
- потрібно перейти на інший крок (етап), бо фізично не може виконатися умова переходу?
- потрібно зупинити виготовлення партії?
- потрібно терміново відмінити виконання усієї процедури або одного етапу?

Стандартом передбачено, що для кожної такої ситуації у системі керування будуть означені певні дії, а сама ситуація називається *станом* (state). Побудова керування технологічним процесом на основі станів дає можливість чітко узгодити технологу та автоматнику, як себе буде вести система у кожній ситуації. Стандарт пропонує один із варіантів набору станів та умов переходу між ними (Рис. 5). Перехід від стану до стану відбувається за командою, або за внутрішньою умовою завершення (для перехідних станів). Оскільки процедура рецепту складається з етапів, кожен з них має свій набір станів.

Наприклад, коли запускається процедура рецепту, вона переходить зі стану «ПРОСТІЙ» в стан «ВИКОНУЄТЬСЯ», і перший етап в процедурі також переходить в стан «ВИКОНУЄТЬСЯ». Якщо необхідно призупинити технологічний процес за командою оператора, або за відсутністю сировини чи енергії процедура рецепту переходить в стан «ПРИЗУПИНЯЄТЬСЯ», що призведе до переходу в такий же стан усіх активних етапів.

Зміна станів може відображатися на засобах людино-машинного інтерфейсу, наприклад зміною кольорів та написів, як це показано на Рис. 4.

Для можливості опису різної поведінки станів в залежності від ситуації, стандарт означає поняття *режимів*. Так наприклад, оператору переводити процедуру на будь який крок можна тільки в ручному режимі, а в напіваавтоматичному – після завершення одного кроку наступний запуситься тільки після підтвердження оператором.

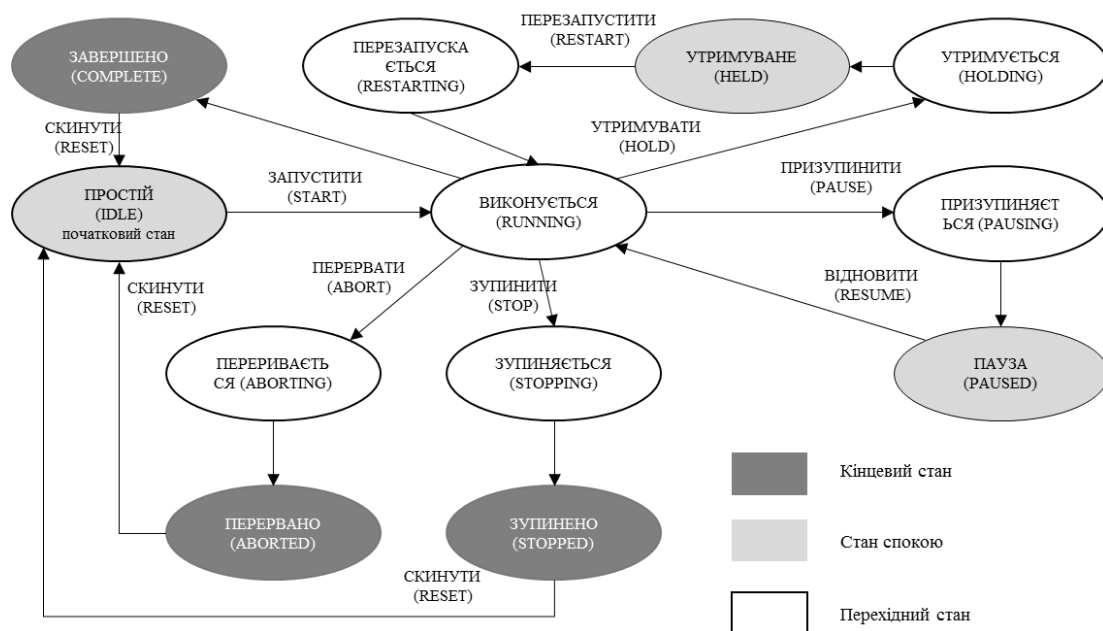


Рис. 5. Варіант автомату станів процедурного елемента, означеного в стандарті

Ієрархія устаткування. Для того, щоб правильно розподілити яке устаткування буде виконувати конкретні процедурні елементи (етапи) стандарт означає ієрархію устаткування. У стандарті виділяються такі рівні устаткування:

- рівень технологічної комірки (Process Cell), який відповідає за виготовлення усієї партії, тобто за виконання процедури керівного рецепту;
- рівень технологічних вузлів (Unit), в яких проходять основні технологічні операції з партією;

- рівень модулів устаткування (Equipment Module), який відповідає за додаткові технологічні операції;
- рівень модулів керування (Control Module), які невидимі для процедури, але реалізують усі керівні дії на устаткованні.

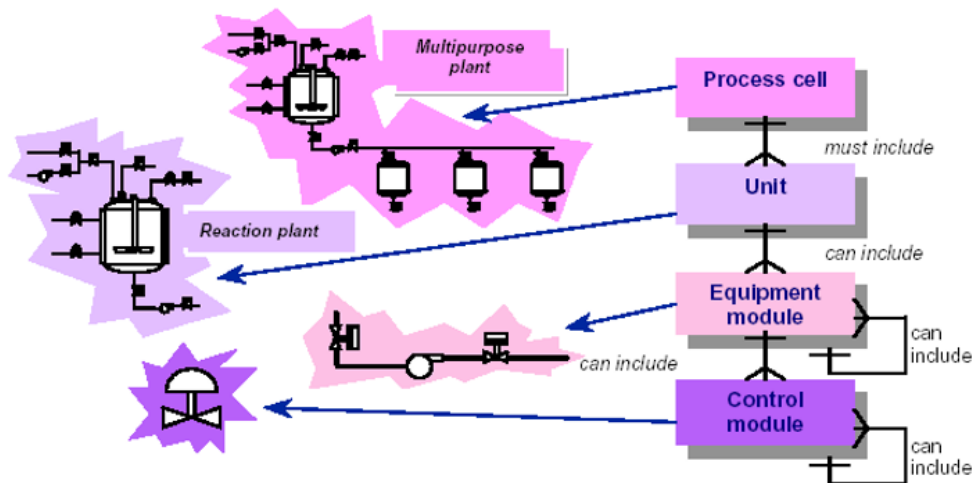


Рис. 6. Приклад ієрархії устаткування

Поєднання керування устаткуванням з процедурою керівного рецепту забезпечує виготовлення конкретної партії. Кожен об'єкт устаткування має свій набір станів та режимів.

У стандарті також означені правила надання процедурі конкретного устаткування. Тобто етап в майстер рецепті може передбачати виконання на різному устаткуванні. Перед задіянням одного з них в керівному рецепті, устаткування надається (allocation) даному рецептурному елементу, що гарантує відсутність колізій його використання при одночасному виконанні кількох рецептів.

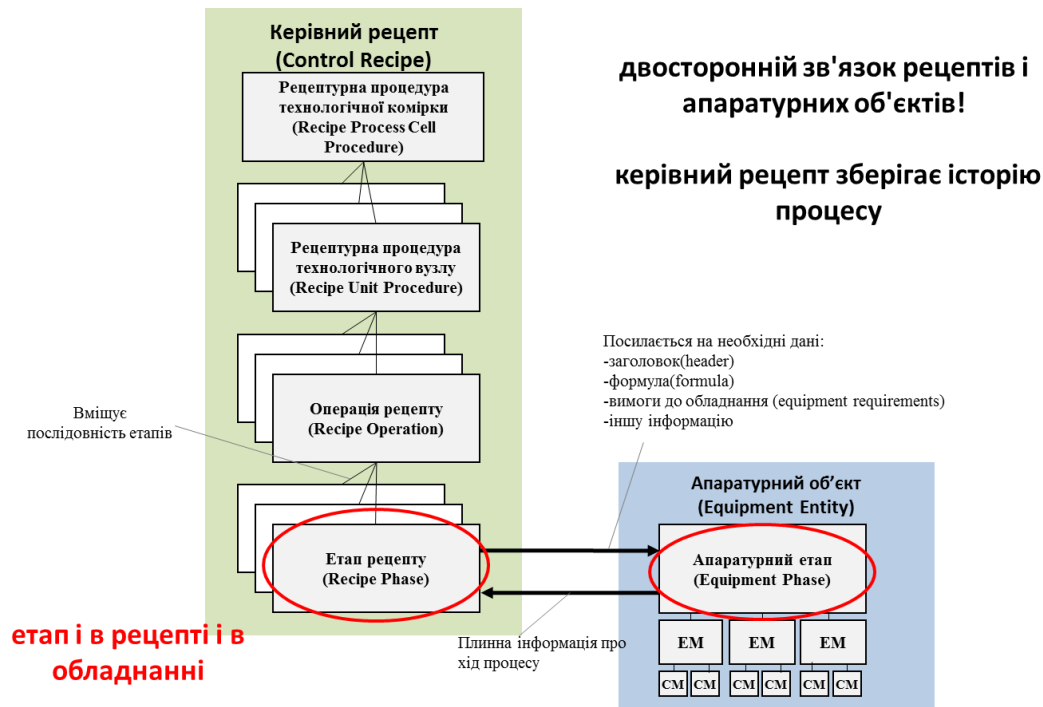


Рис. 7. Зв'язок етапу в рецепті з етапом в устаткованні

Ієрархія устаткування в ІЕС-61512 співпадає з ІЕС-62264 (стандарт про інтегрування MOM та ERP), що спрощує інтегрування системи з рівнем керування усім виробництвом та підприємством.

Простежуваність процесу. Стандарт передбачає, що усі дії з рецептами, переходи між станами, зміна параметрів та значення технологічних змінних фіксуються в *історії виготовлення партії* (Batch History). Таким чином, для вибраного ідентифікатора партії можна простежити за яким майстер рецептом вона була зроблена, які параметри формули змінювалися, яке устаткування було задіяне при виготовленні, коли і як змінювався стан кожного процедурного елементу. Простежуваність процесу «гене-тично закладено» через автомати станів, режими, послідовностне керування та керування рецептами. Навіть якщо у зміні процедури немає потреби, реалізація системи керування згідно стандарту значно спрощує механізм простежуваності.

Крім детального опису наведених вище основних концепцій, в першій частині стандарту також описані:

- різні види керування, та їх особливості;
- структура рецептів;
- типи рецептів на різних рівнях керування підприємством та їх зв'язок;
- ієрархія процедур;
- календарне планування порційного виробництва;
- склад виробничої операції;

- правила надання та арбітражу;
- діяльності керування порційним виробництвом;
- звітність про виготовлення партії;
- координація роботи підсистем.

Для ознайомлення з усіма функціями Ви можете прочитати навчальні матеріали за [посиланням](#).

3. Кому потрібен стандарт IEC 61512?

Стандарт ISA-88 (який пізніше був прийнятий як IEC 61512) розроблений в технічному комітеті ISA, робота якого стосується систем автоматизованого керування. Складається враження, що стандарт потрібен виключно для інженерів з автоматизованого керування. Але чи це дійсно так?

У життєвому циклі систем керування порційними виробництвами залучені різні стейкхолдери (зацікавлені особи). На нашу думку стандарт IEC 61512 відноситься до інших інженерів так само, як відноситься до них схема автоматизації (P&ID). Тобто деталі стандарту повинні бути відомі усім автоматникам, а основи – усім хто задіяний в життєвому циклі порційного виробництва, побудованого відповідно до його вимог.

Що робити з тими, хто не збирається використовувати даний стандарт з певних причин? Наприклад, немає необхідності в такій гнучкості використання рецептів, або виробництво є виключно неперервним. Може їм не варто витрачати час для ознайомлення з ним? У цьому розділі ми спробуємо показати, що може дати впровадження стандарту або його окремих елементів для різних стейкхолдерів.

Усі учасники життєвого циклу.

1. Наявність єдиного стандарту дає можливість розмовляти однією мовою і мислити одними категоріями усім учасникам життєвого циклу. Досвід показує, що непорозуміння між учасниками проекту можуть призвести до значного затягування термінів реалізації або невдалої реалізації і проблем подальшого супроводження. У нашій практиці неодноразово зустрічалися випадки, коли у головного проектанта змішувалися поняття режимів, станів і методів доступу в один незрозумілий і заплутаний конгломерат, що призводило до необхідності неодноразової переробки.
2. Стандарт дає готові підходи до побудови ієрархії устаткування та процедурного керування, що впливає не тільки на розробку системи керування а і на проектування об'єкта взагалі. Тобто прийняття стандарту на усіх рівнях дозволяє проектувати «залізо» за правилами гнучкого виробництва.
3. Побудова систем на базі парадигм Індустрії 4.0. Стандарт є одним з базових, що входять до різних платформ І4.0, зокрема німецької

(RAMI 4.0). Це значить, що побудова сучасних систем неможлива без знання стандарту.

Експлуатаційний персонал (оператори та відповідальні за основне виробництво). Стандарт розроблений для полегшення та пришвидшення роботи експлуатаційного персоналу і зменшення помилкових ручних дій.

1. Наявність єдиного стандарту на підприємстві робить його експлуатацію простішою, так як використовуються однакові правила.
2. Можлива реалізація стандарту, при якому можна переносити рецепти між різними технологічними комірками.
3. Стандарт організовує виконання ручних дій. Тобто самі дії залишаються ручними, але ініціювання їх виконання може проводитись відповідно до рецепту, а підтвердження результату є умовою завершення певного технологічного кроку.
4. Автоматична фіксація усіх дій в журнал. Не потрібно вести виробничі журнали, так як усі дії (у тому числі ручні) пишуться в архів виготовлення партії.
5. Гнучке керування станом процедури керівного рецепту. Нерідко системи керування розробляють таким чином, коли неможливо «проштовхнути» процедуру на інший крок. Згідно стандарту така можливість передбачена через зміну режиму та станів. Крім того стандарт передбачає в ручному режимі запуск будь якого етапу за необхідності.
6. Вибір устаткування за потребою. У випадку непередбачуваних причин оператор може вибрати інше устаткування ніж було заплановано.
7. Можливість гнучкого планування виробництва. Хоч у стандарті не означені методи планування, навіть при ручному календарному плануванні за історією партії можна визначити інтервали часу для приготування різних продуктів у різному устаткуванні.

Технологи.

1. Реалізація системи керування згідно стандарту дає можливість технологу:
 - швидше впроваджувати нові продукти на виробництво;
 - максимально використовувати усе доступне устаткування;
 - швидко аналізувати технологічні процеси, які проходили при виготовленні конкретної партії продукту;
 - створювати нові версії майстер-рецептів на основі найкращих керівних рецептів простим копіюванням;
 - виводити старі рецепти з обслуговування без їх видалення;

- швидко проводити простежуваність процесів виготовлення конкретної партії.
2. Чіткість означення технологічної процедури. Використання автоматів станів та режимів (навіть без повної реалізації стандарту) дає можливість чітко означити поведінку системи керування технологічним процесом за різних ситуацій.
 3. Використання формальних способів означення рецептів. Використання стандартних мов означення рецепту (навіть без повної реалізації стандарту) спрощує взаєморозуміння між технологом і автоматником.

Усі спеціалісти з автоматизації, задіяні в розробці та наладці системи.

1. Спрощення виділення контурів. Правила виділення контурів, їх ідентифікація та правила взаємодії узгоджуються з правилами декомпозиції устаткування.
2. Спрощення побудови алгоритмів. Визначення станів та режимів, виділення процедурних елементів устаткування зрештою призводить тільки до необхідності визначення алгоритмів для кожного з цих станів та функцій блокування. Алгоритми можуть бути означені навіть у табличному вигляді.

Програмісти АСКТП.

1. Стандарт означає стійку структуру програми. Правильно побудована прикладна програма зменшує кількість помилок і спрощує її відлагодження. Хоч стандарт явно не вказує на правила побудови прикладної програми у ньому є певні вимоги, які вказують на них. Наприклад, речення «підлеглі апаратурні об'єкти повинні мати можливість виконати свою задачу(-чі) незалежно і асинхронно, дозволяючи апаратурним об'єктам вищого рівня координувати діяльність своїх підлеглих» вказує на те, що ієрархічно організовані функції повинні виконуватися паралельно, а не вкладено.
2. Спрощення колективної розробки. У великих проектах можуть приймати участь кілька програмістів. Стандарт означає правила декомпозиції об'єкта з точки зору устаткування та процедурного керування. Це дає змогу розділити роботу як по горизонталі, тобто на одному ієрархічному рівні, так і по вертикалі, коли функції або функціональні блоки розробляють різні люди.
3. Єдиний стандартизований інтерфейс на усі проекти. Наявність означених автоматів станів передбачає розробку чітко означених інтерфейсів функцій/ФБ, які відповідають стандарту. По суті, велика частина роботи по означенню інтерфейсів вже зроблена в стандарті.

4. Використання стано-орієнтованого програмування. Для реалізації цього стандарту використання стано-орієнтованого програмування є обов'язковим. Практика показує, що цей стиль вимагає чітких правил, що значно зменшує можливу невизначеність роботи програми, кількість помилок та спрощує процедуру перевірки.
5. Означені принципи архітектури об'єктів. Програмісту не потрібно придумувати власні правила виділення об'єктів, декомпозиція проводиться колективом розробників за правилами, що означені в стандарті.
6. Спрощення побудови розподілених систем керування. Асинхронність виклику процедур та функцій базового керування дають можливість повністю розподіляти їх між різними засобами автоматизації. Це також дуже важливо для роботи згідно ідеології Індустрії 4.0, що передбачає інтелектуальність устаткування різного рівня. Взаємодія через пару COMMAND/STATUS дає можливість побудувати систему з використанням архітектур IIoT (Industrial Internet of Things).
7. Використання правил надання (Allocation). Означення механізму надання вирішує конфлікти доступу до спільних ресурсів. Навіть без повної реалізації стандарту, його розуміння вже дає відповіді на питання правил розподілу ресурсів.
8. Спрощення реалізації KPI. Використання процедур та устаткування на базі станів спрощує реалізацію розрахунку KPI, так як умови початку і кінця зміни стану або режиму явно відслідковуються. Явне виділення об'єктів устаткування дає можливість робити розрахунок складових KPI (наприклад кількості, сумарного часу) на першому рівні ієрархії (контролери).

4. СВІТОВИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ

За доступними в Інтернеті джерелами (книги, білі книги, статті) ми провели аналіз використання стандартів ISA 88 та IEC 61512 у світі. Дані стандарти досить відомі в середовищі спеціалістів з автоматизації процесів керування. У світі створюється багато організацій та спільнот для їх просування і розвитку в якості кращих практик керування порційними виробництвами. На основі них прийнято багато державних та регіональних стандартів методом перекладу, наприклад ГОСТ Р МЭК 61512 в Росії чи JIS C 1807 в Японії.

Стандартам присвячено безліч галузевих семінарів, конференцій та форумів, основна мета яких об'єднати спеціалістів навколо вирішення спільних проблем керування процесами порційного виробництва. Їх цілями є також поширення і пропагування кращих практик проектування, впровадження та експлуатації, а також зосередження уваги на підводних каміннях, яких слід уникати. Серед найбільш відомих тематичних форумів є **WBF** (World Batch Forum) та **JBF** (Japan Batch Forum), на яких представляються кращі результати та практики впровадженнь систем керування порційними виробництвами в різних галузях промисловості та на об'єктах різної складності.

Серед матеріалів цих форумів, нам здалися цікавими оприлюднені результати дослідження та опитування, які проводив оргкомітет JBF [1]:

- порційні виробництва становлять трохи менше 50% виробництв у більш ніж половини галузей;
- загалом, 45% цих порційних виробництв є одно-шляховими структурами, а решта – складні багато-шляхові або мережні структури;
- одно-продуктові виробництва становлять близько 30% від загальної їх кількості, а решта виробляють кілька продуктів; для більшості видів галузей існує понад 100 сортів для одного продукту, і ця кількість в деяких випадках може сягати 3000 сортів; крім того, на 85% виробництвах відбуваються зміни продукту чи сорту;
- для 73% виробництв тривалість виготовлення партій продукції займає менше однієї доби, але є також приклади в харчовій та фармацевтичній промисловості, де вони тривають до 3 тижнів.

Результати дослідження також показують, що для більшості підприємств порційного виробництва найбільш типовими є наступні труднощі в

керуванні: великий асортимент продукції, що випускається; постійні зміни технологічних маршрутів; змінна рецептура продукції; продукція випускається невеликими партіями, між якими необхідно проводити підготовчі операції.

Існує безліч кейсів використання стандартів для організації гнучкого виробництва. Всі вони доводять, що використання методологій та практик, описаних в стандартах, сприяє економії часу розробки, впровадження та налаштування системи керування порційним виробництвом, що в свою чергу приводить до економії коштів. Нижче наведемо найбільш цікаві на нашу думку приклади використання стандарту та отримані результати. Для зручності читання ми розділили їх на дві групи: для спеціалістів з автоматизації та для всіх.

Для спеціалістів з автоматизації.

Використання об'єктно-орієнтованого підходу при реалізації модулів керування і модулів технологічного устаткування, відповідно до стандарту ІЕС 61512, призводить до значної економії часу а також коштів, на розробку, впровадження та налагодження системи керування [2]. Економія витрат та часу зумовлена можливістю одноразового налаштування та використання готових об'єктів у кількох екземплярах рецептів. Час витрачений на створення та налаштування нових рецептів також буде менший, оскільки модулі технологічного устаткування вже налаштовані і підготовлені до експлуатації, що зменшує і вартість впровадження нового продукту.

У кількох роботах (наприклад, [3]) зазначається, що стандарт ІЕС 61512 не вимагає повної реалізації всіх моделей і їх рівнів. Це робить його добре застосовним не лише для великих, але і для малих порційних виробництв, а також для всіх періодичних процесів. Перевагою використання стандарту для таких процесів є спрощення подальшого масштабування виробництва, додавання нового устаткування та інтеграція з іншими рівнями виробництва. Розробник системи керування для невеликих виробництв може бути занепокоєний складністю повної реалізації стандарту. Також може здаватись, що для використання ІЕС 61512 йому доведеться купувати, а в подальшому і підтримувати, багато додаткового комп'ютерного устаткування та навчитися користуватися складним програмним забезпеченням. Для невеликих та простих процесів порційних виробництв він може зробити висновок, що не варто дотримуватись даного стандарту. Але можливо, він не усвідомлює, що ІЕС 61512 не обов'язково вимагає дотримання всіх елементів і рівнів ієрархії моделей. Певні переваги можна отримати, реалізуючи лише частину моделей, означених стандартом. Наприклад, модулі керування та модулі технологічного устаткування можуть бути реалізовані без необхідності створення етапів чи будь-яких інших

елементів процедурної моделі. Крім того, реалізація апаратурних об'єктів в системі керування здійснюється знизу вгору: спочатку модулі керування, потім модулі технологічного устаткування, потім апаратурні етапи, а вже тоді брендова або самописна система керування рецептами для реалізації процедурної моделі. У цьому напрямку реалізація може бути зупинена на будь-якому рівні, якщо будуть виконані вимоги, які ставились перед системою керування.

Нетривіальною задачею при розробці систем керування порційними виробництвами є формування звітності. Необхідно формувати звіти по виробництву кожної партії продукції, які будуть містити інформацію про перебіг технологічного процесу, про сировину з якої виготовлена та чи інша партія продукції, про всі події плановані і позаштатні, які відбувалися під час виготовлення партії. Для цього необхідно проводити аналіз даних зібраних системою керування порційним виробництвом. Автори роботи [4] пропонують при проектуванні та реалізації підсистеми звітності окремо зосереджуватися на кожному з кроків: збору даних, пошуку даних та власне аналізу даних.

Також слід розділяти користувачів для звітів: персонал, що використовує попередньо налаштовані стандартні звіти для ведення своєї щоденної діяльності та експертні користувачі, які роблять детальний аналіз даних для вирішення індивідуальних потреб. Звіти, як правило, стандартизуються в межах підприємства, щоб зосередити увагу на конкретні періоди (наприклад, зміна, день, тиждень) та на партії чи кампанії (послідовність партій). До користувачів цих звітів відносяться оператори, бригадири, керівники підприємств тощо. Детальний аналіз даних зазвичай проводиться інтерактивно. Щоб допомогти проводити детальний аналіз даних, інформація повинна бути доступною кількома клацаннями миші.

Використовуючи відображення часу витраченого на виготовлення, або інші показники KPI, можна порівняти кілька партій між собою. Ці значення вказують на відхилення і можуть бути використані для статистичного керування технологічним процесом. Більш детальний аналіз відхилень може бути здійснений шляхом аналізу тенденцій значень технологічного процесу в часі на відносній часовій осі. Для швидкої ситуаційної обізнаності можуть використовуватися як значення змінних технологічного процесу так і їх комбінація (типу KPI), що відображає поведінку технологічного процесу. Комбінація декількох KPI, допомагає швидко проаналізувати процеси виробництва кількох партій.

Існуюча концепція рецептурного керування відповідно до стандарту ІЕС 61512 передбачає, що рецепти створюються та виконуються на сервері керування порційним виробництвом (як правило реалізований на проми-

словому ПК). Тобто, під час виконання рецепту в режимі реального часу сервер керування порційним виробництвом безперервно обмінюється даними з ПЛК, на якому виконується логіка виконання етапів та базове керування технологічним процесом. Автори у [5] зазначають, що оскільки ПК за своєю суттю ненадійні, для підвищення безпеки та надійності роботи використовується резервування функцій виконання порційного виробництва та ліній зв'язку. Враховуючи, що ПЛК є одним із найнадійніших компонентів обладнання в системі керування і стають все більш функціональними, автори пропонують перенести на них більшу частину функцій серверу. У рамках цього підходу створення рецептів здійснюється на ПК та завантажується в ПЛК. Сам ПЛК реалізовує функції виконання порційного виробництва, одночасно виконуючи логіку етапів та базове керування технологічним процесом. Потреба у зв'язку в режимі реального часу з промисловим ПК зникає. Дана концепція є простою, економічно вигідною, надійною та зрозумілою, у той же час достатньо ефективною для більшості застосунків керування порційними процесами. Вона дає можливість одночасного виконання більшої кількості рецептів з автоматичним розподілом технологічного устаткування, підтримкою паралельних, а також альтернативних розгалужень, та виконання алгоритму переходу станів окремих етапів.

Для всіх.

За даними представленими у роботі [6] використання стандарту дає ряд суттєвих переваг. На ряді підприємств після впровадження стандарту отримано:

- поліпшення пропускної здатності технологічних комірок до 20%;
- стандартне відхилення часу циклу партії зменшено на 50%;
- дії оператора зменшилися на 80%
- кількість операторів скоротилася на 33%
- 20% скорочення часу циклу виготовлення однієї партії
- продуктивність підприємства зросла на 5%
- відповідність продукції заявленим специфікаціям збільшилася з 96% до 100%.

Також в процесі впровадження систем керування, відповідно до стандартів, на цих же підприємствах досягнуто значних економій витрат та часу:

- час запуску проекту скоротився на 33% порівняно зі звичайними методами;
- 30% зниження вартості впровадження нових продуктів;
- 10% скорочення часу циклу впровадження нових продуктів.

У цілому ІЕС 61512 представляє собою велику кількість знань та досвіду щодо керування процесами порційного виробництва, і його викорис-

тання обумовлює зміни для людей задіяних на різних етапах життєвого циклу системи керування, оскільки вони мають різні бачення щодо термінів та розуміння тих чи інших речей [7]. Хоча використання нових моделей та термінології для декого було болісним, це дало великі переваги як для виробничих компаній, так і для розробників систем керування. Без загальної термінології та моделей виникала плутанина, як у випадку, коли виробничники намагалися описати свої технологічні процеси інтеграторам, так і тоді, коли останні намагалися описати свої рішення. За допомогою моделей та термінології ІЕС 61512 зменшилася невизначеність, виробничники змогли описати свої вимоги з точки зору технологічного процесу, а також легко порівнювати та оцінювати різні рішення інтеграторів, які у свою чергу змогли пояснювати свої рішення.

Дехто помилково вважає, що стандарт ІЕС 61512 застосовується лише до процесів порційних виробництв. Хоча це було першочерговою метою розробки, результати роботи були ефективно застосовані для дискретних та неперервних процесів [8]. Він може застосовуватися до будь-якого технологічного процесу, де необхідне процедурне керування. Хоча воно найбільш часто зустрічається в процесах порційних виробництв, стандарт також використовується при запуску, зупинці, обробці винятків та перемиканні режимів у всіх виробничих процесах. У роботі [8] David A. Chappell сказав: «У кінці вісімдесятих при розробці стандарту ISA-88 для керування порційним виробництвом, деякі члени нашого комітету вирішили перевірити ефективність можливого застосування концепцій керування періодичними процесами, покладених в основу цього стандарту, у неперервному і дискретному виробництві. Ми зійшлися на думці, що ці концепції дуже добре підходять і можуть бути використані і в інших галузях промисловості. Том Фішер теж погодився, але зазначив, що якби ми спробували розширити статут стандарту за межі періодичного виробництва, ймовірність закінчити коли-небудь цей стандарт сильно б зменшилася. Том мав рацію! Замість прогнозованих 2 років, перші дві частини стандарту ISA-88, що задовольняли первинному його статуту, фактично були випущені аж через 13 років. Добре, що ми зупинилися на порційному виробництві, так як я не можу собі уявити, де ми були б зараз, якби тоді розширили наш статут!».

Сьогодні є технічний звіт щодо використання ISA-88 у дискретному виробництві (ISA-TR88.00.02 «Machine and Unit States: An Implementation Example of ISA-88»), а також на базі нього розробляється новий стандарт для неперервного виробництва ISA106 «[Procedure Automation for Continuous Process Operations](#)».

IEC 61512 входить в перелік базових стандартів для еталонної моделі RAMI4.0 (Рис. 8), яка є основою німецької програми Industrie4.0. Це означає, що реалізація кіберфізичних систем передбачає використання основ цього стандарту.

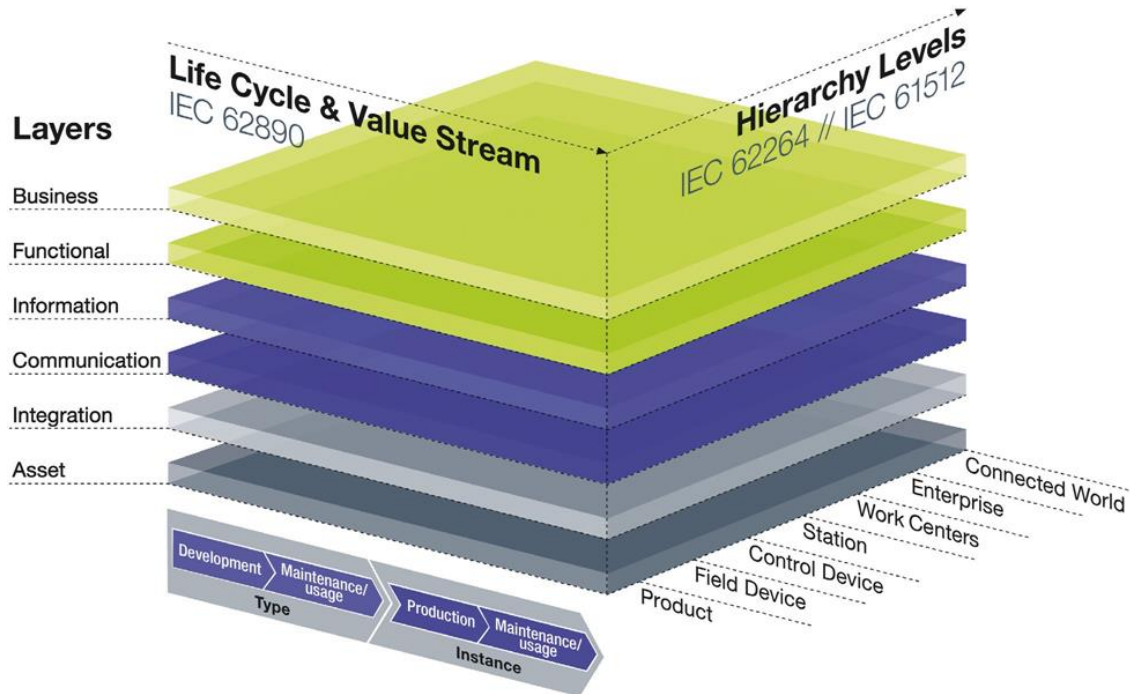


Рис. 8. Місце стандарту в моделі RAMI 4.0

Перелік посилань

1. David W. Brown, Introduction to S88 For the improvement of the design of batch systems, Japan Batch Forum, 2007.
2. Gordon Roney, Andrew Blankenship, How a Flexible Batch Application Can Save Costs, ISA-88 Implementation Experiences, 2010.
3. Clark L. Case, Applying ISA-88.01 to Small, Simple Processes, ISA-88 Implementation Experiences, 2010.
4. Martin Zeller, Dipl-Ing, Batch Data Analysis, ISA-88 Implementation Experiences, 2010.
5. Giovanni Godena, Igor Steiner, Janez Tancek, Marko Svetina, Design of a Batch Process Control Tool on the Programmable Logic Controller Platform, ISA-88 Implementation Experiences, 2010.
6. Dennis Brandl, Powering Project Productivity Using Best Practice Standards, CSIA Executive Conference, 2013.
7. William Hawkins, Dennis Brandl, Walt Boyes, ISA-88 Implementation Experiences, Worlds Batch Forum, 2010.
8. Applying ISA-88 in Discrete and Continuous Manufacturing, 221 p., LLC 2010.

5. ОПИС ПРОБЛЕМАТИКИ УКРАЇНСЬКОГО РИНКУ В ОБІЗНАНОСТІ, СПРИЙНЯТТІ ТА ВПРОВАДЖЕННІ СТАНДАРТУ ІЕС 61512

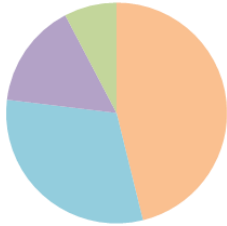
Технічний комітет 185 «Промислова автоматизація» разом з партнерами провели опитування стосовно стану використання методики керування порційним багаторецептурним виробництвом (Batch Control) згідно стандартів ISA-88/IEC-61512. Мета дослідження – огляд стану та перспектив використання ISA-88/IEC-61512 в українському виробництві на основі результатів опитування представників інтеграторів, інжинірингових компаній, постачальників та ЗВО. Нажаль, ми отримали мало повних відповідей, щоб судити про дійсний стан. На всі питання відповіли тільки **7 осіб**. У останньому питанні треба було вказати свої координати, тому ми враховували відповіді також тих осіб, хто відповів на усі питання крім цього (**13 осіб**). Також, у нас була можливість провести опитування у представника білоруської молочної компанії «[Савушкин продукт](#)», який є передовим підприємством харчової промисловості в Білорусі. Він представляє як замовника так і розробника, так як розробляє та супроводжує системи автоматизації свого ж підприємства.

Не дивлячись на погану репрезентативність, ми вважаємо за необхідне висвітлити результати опитування. Вони наводяться у вигляді таблиці, в якій вказані відповіді у відсотках, абсолютній кількості та у вигляді діаграми за особами, хто відповів на всі питання, окрім останнього. Додатково в останній колонці наводяться результати за повним переліком відповідей (хто вказав також свої координати) та відповідь білоруських колег (літера Б). Ми також зробили певні коментарі до отриманих результатів, які відображають нашу думку, але можуть не відповідати дійсності, враховуючи малу кількість опитаних.

Для розуміння актуальності опитування для респондентів, першим було питання про наявність процесів порційного виробництва на їх підприємствах. На підприємствах 70% опитаних присутні процеси порційного виробництва, тобто всі задачі, що розглядаються в стандарті для них є ак-

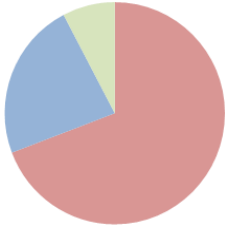
туальними (Див. Табл. 1). Однак, слід відмітити, що тільки половина з респондентів, що відповіли на всі питання, мають такі процеси.

Табл. 1.

№	Питання	Незавершені, без контактних даних			Завершені + контакти
		Відповідь	Кількість %/абс	Відсоткова діаграма	Кількість %/абс
1	Чи є на вашому виробництві технологічні процеси, що мають характер порційних (англ. Batch, коли партія продукту послідовно проходить усю технологічну обробку в одній одиниці обладнання)?	так, частково є	46/6		57/4
		немає (тільки неперервні або дискретні процеси)	31/4		43/3
		так, практично для всього виробництва	15/2		0+Б
		не зрозумів питання	8/1		0

Близько 90% опитаних відповіли, що на виробництві є змінна рецептура, з них більше половини потребує зміни процедури в рецепті.

Табл. 2.

2	Чи є на вашому виробництві технологічні процеси, що потребують змінної рецептури (регламенту) за зміни продукту?	є, які потребують зміни параметрів і технологічної програми, тобто послідовності виконання процесів	69/9		57/4+Б
		є, які потребують тільки зміни параметрів процесу	23/3		43/3
		немає	8/1		0

При цьому більше половини опитуваних стверджують, що технолог може створювати в системі керування рецепти, але при цьому задаються тільки параметри. Тільки одна особа (яка не залишила про себе дані) вказує, що технолог може змінювати і процедуру рецепту, але не знає чи це зроблено за стандартом ІЕС 61512 (питання 7). Вона також вказала, що на виробництві використовуються порційні процеси для всього виробництва (питання 1).

Три респонденти (23%) зазначили, що змінюють програму керування, із них два відповіли, що виробництво потребує зміни рецептури зі зміною процедури, а один – зміни тільки параметрів. Так само, наразі змінюють рецепти у представника білоруської молочної компанії.

Один із респондентів, який відповів, що рецепти не потребуються, у той же час дав відповідь, що є процеси, які потребують змінної рецептури

зі зміною параметрів і технологічної програми (питання 2), що взаємно суперечить. Надалі інші відповіді цього респондента ми позначили як недостовірні (-1нд).

Табл. 3.

3	Які дії проводяться на вашому виробництві, коли вводиться новий продукт або рецепт/регламент, що повинен вироблятися на існуючому обладнанні в автоматичному режимі(стосується тільки порційних Batch виробництв)?	технолог створює новий рецепт, змінивши тільки параметри, але не технологічну програму, зміни в АСУТП не потребуються;	54/7		71/5
		програмісти змінюють програмне забезпечення (вводять новий рецепт) в системі керування АСУТП	23/3		29/2+Б
		добавлення нового рецепта не потребується	15/2 -1нд		0
		технолог створює нову технологічну програму для рецепту сам, зміни в АСУТП не потребуються	8/1		0

Переважна більшість вказує що потрібна повна внутрішня простежуваність технологічних процесів партії (Табл. 4). Ніхто з опитуваних не вказав про необхідність часткової простежуваності. Відсутність необхідності простежуваності говорять в основному ті, у кого виробництво не має порційних процесів.

Табл. 4.

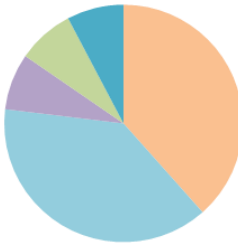
4	Чи є необхідність відслідковувати історію проходження технологічного процесу для конкретної партії (стосується тільки порційних Batch виробництв)?	так, цікавить вся історія: час проходження етапів, технологічні параметри, послідовність етапів, обладнання на кому вироблялося і т.п.	62/8		71/5+Б
		немає, бо технологічні процеси тільки неперервні/дискретні	15/2		14/1
		немає, бо це не актуально	15/2 -1нд		0
		немає, бо це вже є реалізовано на виробництві	8/1		14/1
		так, необхідно знати тільки при яких параметрах проходив процес	0		0

Тільки один із опитуваних (представник відомого в Україні інтегратора) каже про повністю електронні журнали (в умовах проведення опитування інтегратори могли вибирати найкращий виробничий майданчик, у автоматизації якого приймали участь).

Одна з відповідей вказує що журнали взагалі не ведуться, в якості причини у наступному (шостому) питанні вказується «туди немає можливості (або не зручно) вводити повідомлення оператора».

Інші говорять про наявність паперових журналів. Принаймні половина з них свідчать про наявні дублювання (у тому числі і в Білорусі), інші про доповнення інформацією, відсутньою в електронних.

Табл. 5.

5	Оцініть ступінь використання електронних та паперових журналів для ведення результатів аналізів та коментарів операторів (тощо):	журнали повністю електронні, але йде дублювання в паперовому вигляді	38/5		29/2+Б
		в паперові журнали заносяться тільки та інформація, яка відсутня в електронних	38/5		57/4
		журнали повністю електронні: для лабораторних аналізів, тривог, нештатних ситуацій, інших повідомлень операторів	8/1		14/1
		журнали тільки паперові	8/1 -1нд		0
		ніякі журнали не ведуться	8/1		0

На шосте питання можна зарахувати тільки одну відповідь, причини вказані вище.

Табл. 6.

6	Вкажіть найважливішу причину, чому не ведуться електронні журнали:	туди немає можливості (або не зручно) вводити повідомлення оператора	15/2 -1нд		
---	--	--	--------------	--	--

На 7-ме питання респондент, який відповів, що знає стандарт і що той використовується на виробництві повністю, також відповів що не цікавить інформація про стандарт ні на підприємстві (питання 8) ні особисто (питання 9). Однак насторожує відповідь на питання 3, що при необхідності зміни рецепту змінюється програма в системі керування, тоді не зрозуміло, що значить що стандарт реалізований повністю? Аналогічна відповідь у білорусів.

Тільки два респондента (біля 15%) відповіли про часткове використання функціональності стандарту. Стільки ж розуміють стандарт, але не використовують. Найбільша частина опитуваних (третина) нічого не чули про стандарт. Дивує, що серед них є також ті, які періодично отримують інформацію від АППАУ. Враховуючи що багато опитуваних слідкує за подіями, відсоток може бути ще більшим.

Табл. 7.

7	Чи знаєте Ви про стандарт ISA-88 або IEC-61512, що означає методику Batch Control (змінна рецептура, звіти по виготовленню партій і т.п.)?	ні не чув, і не знаю де його використовують	31/4 -1нд		29/2
		знаю добре, але у нас не використовується	15/2		29/2
		знаю добре, частково використовуємо	15/2		14/1
		така функціональність є, але не знаю чи це по стандарту	15/2		0
		чув, але не розумію його призначення	15/2		14/1
		так, у нас використовується повністю	8/1		14/1+Б

Переважає більшість опитуваних каже про наявність обміну принаймні частиною необхідних даних між АСКТП та MOM або ERP. Тільки один респондент вказав про відсутність будь якої інтеграції.

Табл. 8.

8	Чи є інтегровані ваші АСУТП з системами верхнього рівня (MES/MOM або ERP)?	так, але передаються тільки частина необхідних даних	54/7		71/5+Б
		ні, необхідні дані передаються в паперовому або усному вигляді	23/3 -1нд		0
		так, усі необхідні виробничі дані передаються на верхній рівень	15/2		14/1
		ні, ніякі дані взагалі не передаються	8/1		14/1

Говорячи про просвіту українського ринку, слід також оцінити інтерес підприємств і власне представників цих виробництв до ознайомлення з кращими практиками та стандартом в цілому.

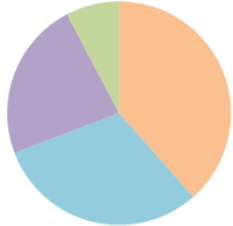
Більше половини з опитуваних вважають, що підприємству буде цікавою детальна інформація про кращі практики керування процесами порційних виробництв (Табл. 9). Третина опитуваних вважає, що підприємству це не цікаво. При цьому відсутня кореляція з типом виробництва.

Більше половини також персонально зацікавлені в отриманні додаткових знань (Табл. 10). Інші не розуміють чи потрібно це їм.

Табл. 9.

9	Чи потрібна вашому підприємству більш детальна інформація про кращі практики керування процесами порційних виробництв (змінна рецептура, звіти по виготовленню партій і т.п.)?	так 100%	38/5		57/4+Б
		ні	31/4		29/2
		скоріше так, ніж ні	23/3		14/1
		не знаю	8/1		0

Табл. 10.

10	Як Ви оцінюєте власний інтерес до ISA-88/IEC-61512?	маю намір ознайомитися, щось знадобиться	38/5		14/1
		дуже потребу, маю намір дізнатися більше	31/4		57/4+Б
		поки не зрозумів для чого він, можливо буде потреба	23/3 -1нд		14/1
		не цікаво	8/1		14/1

Практично всі опитувані серед головних проблем впровадження на підприємствах вважають необізнаність керівництва про можливості. Це мабуть єдиний результат в даному опитуванні який можна вважати істиною.

Також переважна більшість вважає що проблема в необізнаності інтеграторів та скептичне відношення до стандартів виробничників. Більше третини (у тому числі білоруські колеги) вважають також проблемою необхідність додаткового фінансування. І тільки один респондент назвав проблемою скептичне відношення інтегратора до стандартів.

Табл. 11. Які на Вашу думку найбільші проблеми впровадження на підприємствах ISA-88/IEC-61512 (можете вибрати кілька варіантів)?

11.1	необізнаність керівництва про можливості	Так	85/11		86/6
11.2	необізнаність інтеграторів про можливості	Так	69/9 -1нд		71/5
11.3	скептичне відношення до такого роду стандартів виробничників	Так	54/7		71/5
11.5	потреба в додаткових фінансових затратах на впровадження	Так	46/6		43/3+Б
11.4	скептичне відношення до такого роду стандартів інтеграторів	Так	8/1		14/1

Не дивлячись на погану репрезентативність, все ж таки спробуємо зробити певні висновки:

1. Змінна рецептура є достатньо поширеною на виробництві, навіть неперервного типу. Достатньо поширеною є також зміна процедури рецепту.
2. При цьому класичним способом створення/зміни рецепту є зміна значень параметрів (формули) а не зміна процедури. Де потребується зміна процедури – зміни вносять в систему керування. Отже функціонал системи з передбаченням можливості зміни рецепту продукту однозначно необхідний, проте при цьому використовуються неоптимальні підходи зміни програми.

3. Простежуваність є також затребуваною функцією для порційних виробництв.
4. Більшість журналів ведуться в електронному та паперовому вигляді. Причому паперові журнали дублюють електронний.
5. Згідно опитування третина респондентів неозізнана в стандарті. Тут варто відмітити, що багато ідентифікованих опитуваних є добре відомими нам людьми, які сліdkують за нашою діяльністю, тому ця цифра при такій кількості респондентів на нашу думку значно занижена.
6. Більшість опитаних сказали про принаймні часткову інтегрованість систем АСКТП та MOM (або ERP). Це вселяє певний оптимізм, оскільки закладає фундамент для розвитку таких систем надалі.
7. Більшість респондентів зацікавлені у власному знайомстві з стандартом, трохи менше зацікавленості у їх підприємства. Така ситуація сприяє культурному та технічному росту промисловості в цілому, тому що статистика на основі опитування відображає готовність професійної спільноти приймати нові або неосвоєні ними концепції та кращі у світі підходи.
8. Практично всі опитувані серед головних проблем впровадження на підприємствах вважають неозізнаність керівництва про можливості, на другому місці - неозізнаність інтеграторів та скептичне відношення до стандартів виробничників, на третьому - необхідність додаткового фінансування, на останньому - скептичне відношення інтегратора до стандартів.

Практично усі наведені з опитування висновки добре корелюються з нашими спостереженнями окрім останнього. У нашій практиці ми маємо справу з інтеграторами (у якості субпідрядників) і дуже часто зустрічаємо їх скептичне ставлення до стандартів, зокрема до IEC-61512(ISA-88). Можливо такі результати пов'язані з тим, що практично усі, принаймні ідентифіковані респонденти є представниками інтеграторів, які так чи інакше виділяються з цього списку.

У будь якого випадку, основна проблема впровадження стандарту є неозізнаність ринку, так як скептичне відношення є також похідною від відсутності розуміння. Потреба в стандарті вочевидь є, і приємно, що більшість респондентів відчувають потребу в ньому як особисто так і на рівні підприємства.

6. ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ СТАНДАРТУ ІЕС 61512 В ПРОЕКТАХ ТА В НАВЧАННІ

Слід відмітити досить важливу річ, яку потрібно розуміти тим, хто має на меті впровадити систему керування порційним виробництвом згідно стандарту ІЕС 61512: **стандартними засобами АСКТП (SCADA/HMI + контролер) без використання спеціалізованого пакету, або модуля SCADA-програми чи MES/MOM це зробити дуже важко.** Це розуміння повинно бути і у замовника, оскільки впровадження повноцінного функціоналу потребує додаткових затрат.

Але чи значить це, що без використання спеціальних пакетів або додаткових модулів програмних засобів деякі функції, означені в стандарті не можуть бути реалізовані? Ми думаємо, що відповіді на це питання ви знайдете в цьому розділі. Хоч він написаний без технічної деталізації, він може бути цікавим мабуть тільки спеціалістам з автоматизації. Для читачів, що спеціалізуються на інших інженерних діяльностях та обслуговуванні виробництва ми рекомендуємо перейти до висновків.

6.1. Власний досвід впровадження у проектах

З 2017-го року ми (www.i4u.in.ua) почали впроваджувати елементи стандарту в свої проекти. Протягом цього періоду (з 2017-го по сьогодні) ми зробили з десяток проектів, де в тій чи іншій мірі використовувалися діяльності систем керування відповідно до вимог, означених в стандарті. На сьогоднішній день у нас є свій каркас ([PAC Framework](#)), що є власним стандартом для розробки ПЛК та SCADA/HMI, який базується на ІЕС 61512. Також у нас є бачення, як можна доповнити цей каркас для реалізації усіх функцій стандарту ІЕС 61512. Відмітимо також, що тільки кілька з цих об'єктів були частиною порційного виробництва, інші хоч і вміщували періодичні процеси, належали до неперервного або дискретного виробництва. Нижче наводяться результати впровадження елементів стандарту в проектах, у яких ми виступали у якості програмістів АСКТП.

Проектування програми керування. Використання стандарту впливає на всі стадії та етапи життєвого циклу. Ми мали відношення та вплив

тільки на розробку прикладного ПЗ. Після отримання технічного завдання і схеми автоматизації ми обговорювали разом як найкраще виділити процедури та апаратні об'єкти (устаткування + функції керування). Враховуючи, що проекти стосувалися тільки однієї технологічної комірки, а на рівні модулів керування правила були означені каркасом ([PAC Framework](#)), залишалося виділити тільки технологічні вузли (Unit) та модулі устаткування (Equipment Module). Задача була не тривіальною, мала ітераційний характер однак з досвідом ми навчилися це робити.

Означення процедур зводилося до визначення правильного набору найменших елементів - етапів. Усе що відносилось до опису технології, мало початок і закінчення в межах якогось набору устаткування і більше не могло ділитися – ставало етапом. З процедурами технологічних вузлів було простіше, бо це означувалося наявністю таких вузлів. Коли етапів було багато, а в технологічному вузлі різні процедури повинні були задіюватися у різних рецептах, ми їх об'єднували в операції (наприклад мийка технологічного вузла). У стандарті процес виділення процедурних елементів і устаткування показана у пункті 6.1.3 «Інженерія (проектування та розробка) технології і систем керування» та графічно показана на Рис. 9.

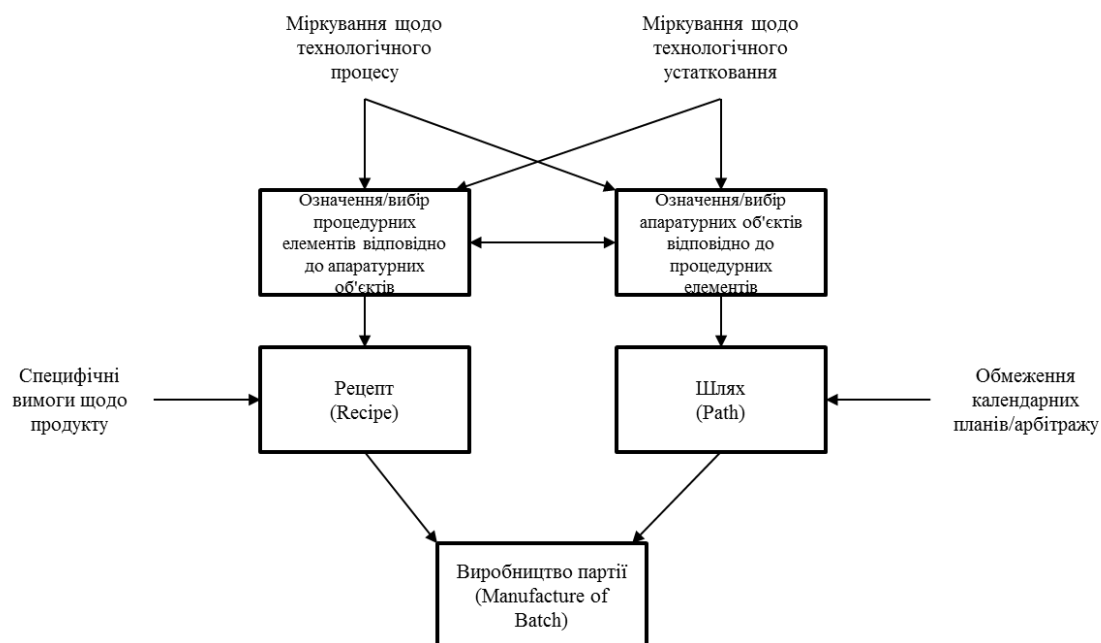


Рис. 9. Вибір процедурних елементів і апаратних об'єктів згідно стандарті

Виділення елементів процедурного керування та устаткування по суті є ще одним кроком формалізації, адже кожна процедура описується в контексті станів та режимів, має прив'язку до устаткування та повинна

узгоджуватися з іншими процедурами. Те саме стосується і устаткування та базового керування. Така формалізація дала можливість виявити проблеми у недостатньо повному описі функцій в технічному завданні та в протиріччях, які були закладені в ньому.

У нас були і невдалі рішення щодо означення об'єкту рівня устаткування або процедурного елементу. Це значно ускладнювало подальшу роботу. Надмірна обережність щодо обмеження внесення змін в програму привела зрештою до постійних проблем зі змінами у майбутньому. Тому, у випадку невдалого вибору рішення з виділення апаратурних об'єктів та процедур варто внести зміни в програму ще на ранніх стадіях розробки ПЗ.

Ієрархія устаткування. Окрім вибору апаратурних об'єктів необхідно означити їх взаємну підлеглисть. Після визначення основного устаткування, що відповідало за виконання технологічних процедур, призначення йому підлеглому устаткування, особливо модулів керування, є інтуїтивно зрозумілим. У цьому процесі ми чітко дотримувалися правил ієрархії, що не давало якомусь устаткуванню одночасно належати кільком апаратурним об'єктам, це усунуло плутанину в подальшому.

Згідно ІЕС-61512 для устаткування може (хоч і не обов'язково) використовуватися поширення режимів. Виявилося, що це досить зручний механізм з точки зору експлуатації, так як переведення технологічного вузла в один із режимів (ручний/автоматичний/блокування) приводило до відповідної зміни режиму усього підлеглому устаткування.

До ознайомлення зі стандартом один із програмістів нашої команди мав досвід розробки програми керування об'єктами, де один і той самий виконавчий механізм, або їх група використовувалися в алгоритмах різних програмних об'єктів. Необхідно було вирішити ряд питань: визначення того, кому належить даний об'єкт, як забезпечити обмеження одночасного доступу в програмі, а також одночасно з якою процедурою він повинен переходити в автоматичний та ручний режим. Рішення було знайдено, але його пошук і перевірка зайняли багато часу. У стандарті ця задача має стандартне вирішення через механізм надання (allocation) спільного ресурсу. Яким це чином робиться стандарт не описує, але сам підхід використання надання вже є великою частиною вирішення цієї задачі. Зрештою, керування та контроль зайнятості ресурсу може вирішуватися зміною та перевіркою звичайної властивості об'єкту, що ми неодноразово використовували у своїх об'єктах.

У каркасі ([PAC Framework](#)) ми також використовуємо механізм Allocation. Технологічні змінні займають для себе спільний ресурс з ексклюзивним доступом – канал контролера. Це дає змогу «перекидати» канали, не

змінюючи програму в ПЛК. Незалежно від об'єкта керування нижній рівень модулів керування (СМ) включає в себе три підрівні (Рис. 10).

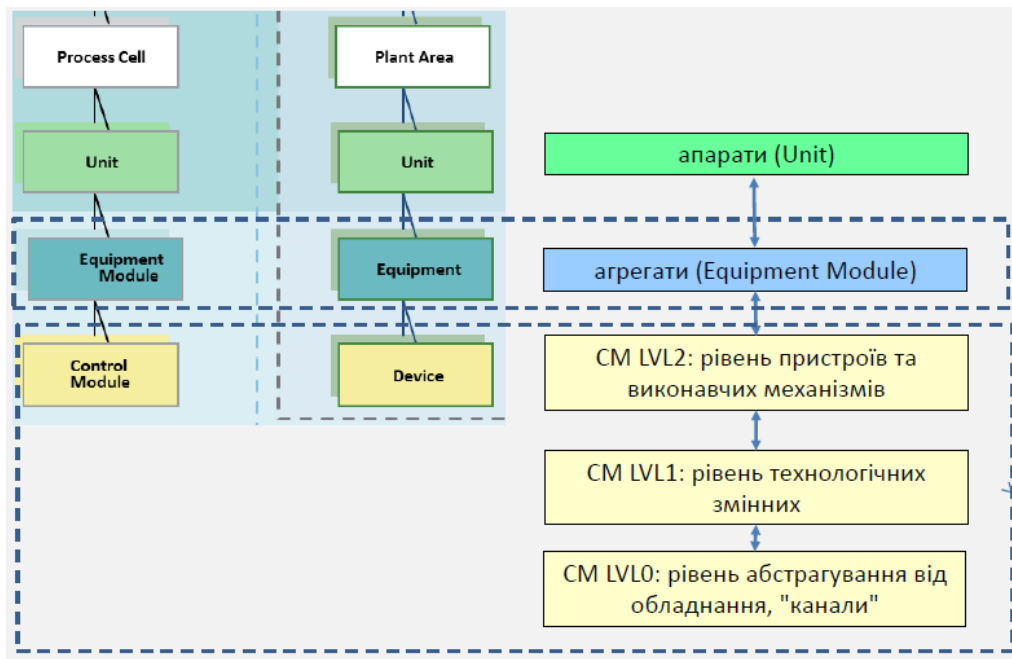


Рис. 10. Ієрархія СМ

У стандарті кожний апаратний об'єкт відповідає за процедурне (технологічне) і базове керування, що є його частиною, а взаємодія між процедурами відноситься до координаційного керування. Це спрощує побудову розподіленої системи керування. На одному з об'єктів (система поливу теплиць) в системі керування було закладено більше десятка ПЛК, кожен з яких відповідав за певну функціональну частину установки. Представник замовника (інжинірингова компанія) пропонував зробити з усіх ПЛК крім одного – центрального, - розподілені засоби вводу/виводу. Враховуючи потенційну можливість надмірного об'єму необхідної пам'яті та часу циклу, а також можливі проблеми з живучістю, ми вирішили побудувати систему за іншим принципом – функціонально розподілену. Відверто кажучи, для нас це був перший досвід, де в межах однієї технологічної комірки будувалася розподілена система з такою кількістю зв'язаних між собою ПЛК. Однак, зробивши відображення (mapping) ієрархії устаткування відповідно до IEC-61512 на ці ПЛК, все стало логічним і зрозумілим. Така структура зробила з кожної ділянки самостійну підсистему, що схоже на підходи DCS та відповідає принципам розподіленості в кіберфізичних системах Індустрії 4.0. Взаємодія між апаратними об'єктами в ПЛК була реалізована через промислову мережу (команди, статуси, властивості Allocation). Автономність контролерів зробила можливим переві-

ряти кожен функціональний вузол окремо і надало живучості системи. Механізм Allocation дав змогу вирішити проблему одночасності доступу до того самого апаратного об'єкту. Звісно, там були інші труднощі, пов'язані з проблемами відлагодження взаємодії на рівні рецепту «на до-му», оскільки потребувало наявності всіх ПЛК. Однак, це є ціною усіх роз-поділених систем керування на базі ПЛК.

Процедурне керування. Відокремлення процедурного керування від базового значно спростило розробку та відлагодження програми керування. Слід черговий раз відмітити, що використання процедурного керування, де технологічний процес є набором елементарних процедур добре підходить і до процесів виробництва, відмінних від порційного.

Наявність окремих процедур дала можливість тестувати кожен з них незалежно. Процедури в ПЛК були реалізовані як самостійні функції, які працювали паралельно, хоч і були пов'язані ієрархічними зв'язками. Ієрархія надала можливість координувати процедурам вищого рівня виконання процедур нижчого. Наприклад, процедура технологічного вузла у необхідний момент запускала на виконання етап.

У той же час, при необхідності дуже легко було організувати взаємне блокування процедур, так як перед запуском вони могли перевіряти стан іншої процедури. При цьому, процедури могли знаходитися на різних пристроях керування.

Процедурне керування відповідає базовим принципам об'єктно-орієнтованого програмування. Одна і та сама процедура може бути використана в багатьох екземплярах.

У [PAC Framework](#) ми означили свій рушій (engine) для процедури, який забезпечує базову функціональність автомату станів, описану в IEC-61512. У свою чергу кожен стан вміщує кроки, змінну часу виконання кроку, змінну часу стану процедури, а також налаштування уставок максимальних та мінімальних інтервалів виконання. По суті, усі необхідні базові налаштування були завжди під рукою, достатньо було їх використати у потрібному місці. З самого початку ми вагалися, чи закладати в процедури функціональність, яка початково не була затребуваною. Дуже скоро ми неодноразово переконалися в тому, що треба обов'язково спочатку реалізовувати весь функціонал.

Враховуючи те, що саме процедури вказують на певну технологічну функцію обладнання, можна будувати спеціалізовану статистику, або KPI прямо в пристрої, де вона реалізована. Наприклад можна окремо рахувати скільки часу проходила мийка обладнання за місяць, або який був час нагрівання. На одному з об'єктів ми вели підрахунок часу утримування на воді під час варки утфелю.

Майстер-рецепти та керівні рецепти. Багато рецептурних виробництв не потребують зміни процедури, а тільки зміни параметрів, яка в термінах ІЕС-61512 зветься формулою. У цьому випадку класичним для систем АСКТП є використання рецептів, які є наборами записів з певною назвою, що за необхідності записуються у задані параметри процесу. Ми вирішили, що і для цього випадку використання двох типів рецептів: майстер-рецепта та керівного рецепта матиме переваги. Зокрема, можна змінити керівний рецепт під час його використання, не змінюючи прототип в «бібліотеці». За потребою можна замінити налаштування майстер-рецепта параметрами з керівного. Ми застосовували цей механізм на всіх об'єктах, які потребували рецепти, як зі зміною так і без зміни процедури.

На одному з об'єктів цукрової промисловості (вакуум-апарати) параметри керівного рецепта а також вся інформація про запуск та зупинку варки (партії) фіксувалися в базу даних. Цей досить простий механізм дав можливість проаналізувати коли і за яких технологічних параметрів проходила варка (Рис. 11).

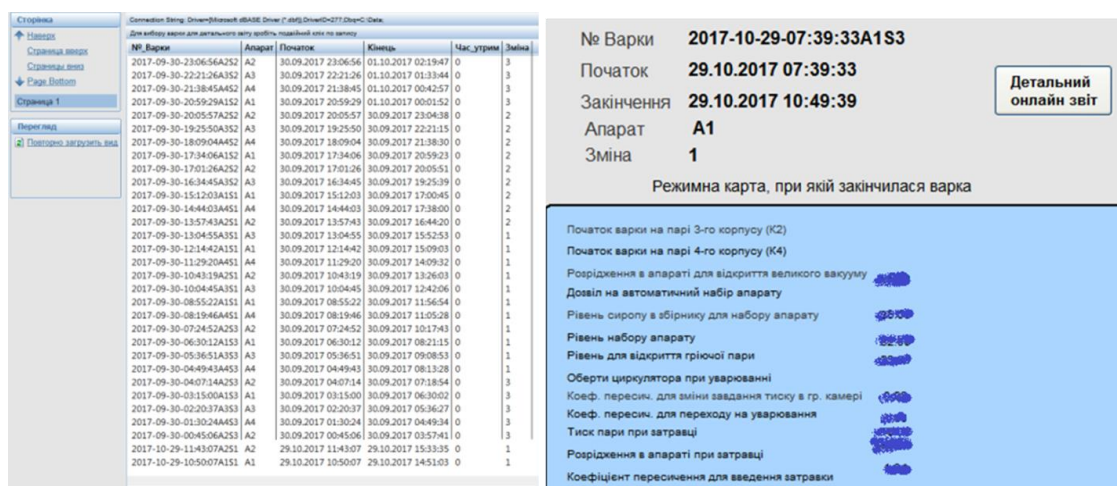


Рис. 11. Фіксації параметрів керівних рецептів

Режими та стани. У стандарті режимам та станам приділяється велика увага. Це і не дивно, бо велика частина технарів просто змішують їх. Нечітко означені поняття режимів та станів, а також невизначеність в їх наборах призводить до плутанини, що унеможливорює написання працездатної програми. Наявність чітко виділених правил в стандарті допомагає усвідомити і один раз прийняти цю практику. Слід зазначити, що стандарт не вимагає забезпечувати саме той перелік режимів та станів, які там наведені, але самі поняття повинні залишитися незмінними.

У наших проектах не було необхідності означувати режими для процедурних елементів, бо не потребувалася ця функціональність. У той же

час, означення станів для процедурного керування дала можливість реалізувати чіткі алгоритми поведінки, в залежності від ситуації. Отримавши в ТЗ опис алгоритму, який по суті не визначав і 50% усіх ситуацій, ми задавали питання технологам, «а що буде коли ... ?». Зрештою, ми створювали таблиці з переліком станів процедурних елементів, дій, які необхідно робити в цих станах, і умови переходу в інші стани. Заповнивши такі таблиці, ми отримували формалізований алгоритм, який можна було змінювати достатньо просто і на папері, і в програмі.

Стани і режими для базового керування використовувалися нами і до ознайомлення зі стандартом. Однак, як виявилось, стано-орієнтоване програмування для багатьох програмістів АСКТП є диковинкою, а інколи і неприйнятною ідеологічно. Це дуже дивно, так як важко побудувати програму з послідовностями дій без означення станів. Кроки – як один із елементів стану (підстан) використовується нами повсюкмістно. Хоч стандарт не потребує означення кроків в середині процедурного і базового керування, ми вважаємо це хорошою практикою.

Окрім визначених в стандарті для базового керування режимів «ручний» та «автоматичний», ми застосовуємо режими «імітоване»/«реальне», «форсування»/«без форсування». Для введення нових режимів необхідно було чітко означити правила їх пріоритетної дії на керування. Так, наприклад, форсування що забезпечує заміну значення вказаною величиною має найвищий пріоритет. Поки ми не зафіксували ці правила на папері, завжди була плутанина в їх використанні.

Для режимів і станів ми використовуємо правила поширення. Як і в багатьох випадках, стандарт тільки оговорює факт можливості поширення, але це вже спричинює необхідність означення цих правил. Так, наприклад, аварійні стани поширюються на апаратурні об'єкти вгору за ієрархією, а режим – вниз. Це значить, що усі тривоги відслідковуються на рівні всієї технологічної комірки (для кожної категорії відповідно до ISA-18.2), а зміна технологічного вузла в режим «ручний» приводить до переведення в ручний режим усіх підлеглих апаратурних об'єктів.

У першому проекті, розробленому згідно ІЕС-61512, ми використовували стандартний автомат станів, який означений в 1-й частині стандарту. У цьому автоматі процедура переходить зі стану «Idle» в стан «Running», і якщо процедура завершилася - в стан «Complete». Враховуючи, що об'єкт мав складні алгоритми запуску і завершення нам не вистачало додаткових проміжних станів, які ми добавили в автомат (Рис. 12). До речі, ми були не першими, подібні модифікації зустрічаються у статтях, а також у версії ISA-88 2010-го року.

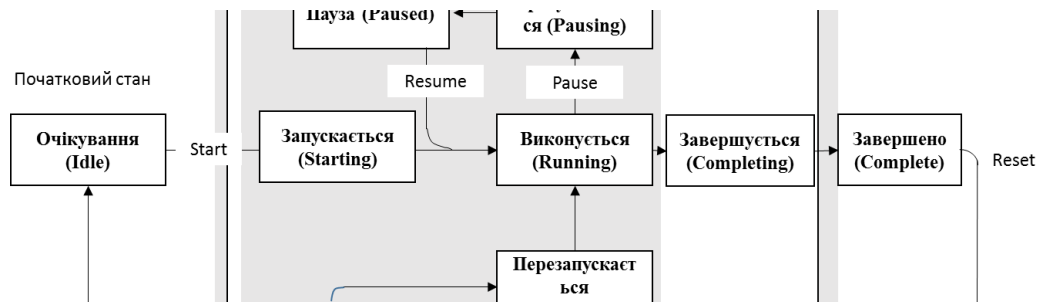


Рис. 12. Фрагмент зміненого автомату станів

Використання анімації стану при візуалізації (кольором або підсвічуван-
ням) дає можливість значно підвищити ситуаційну обізнаність (Рис. 13).

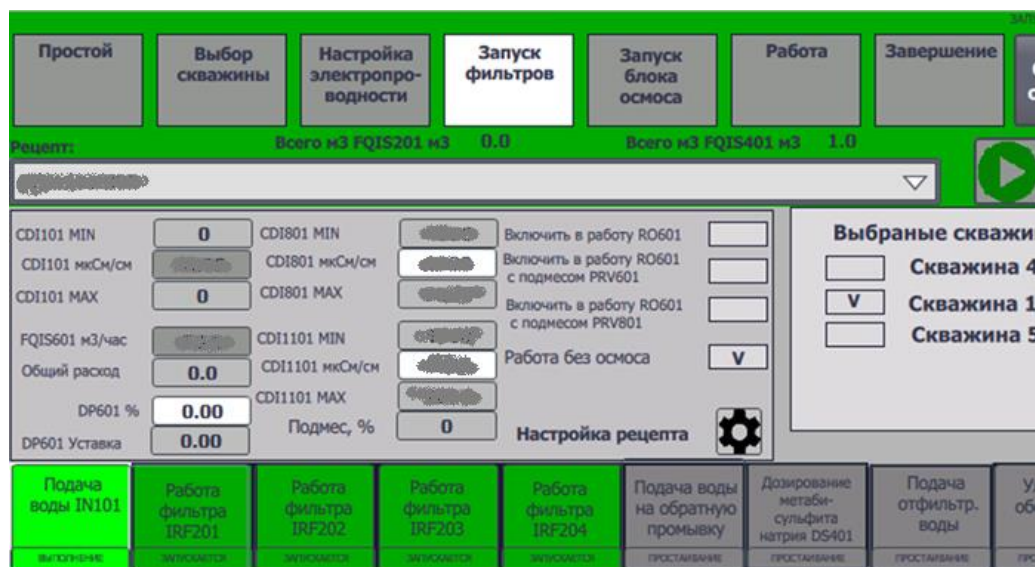


Рис. 13. Фрагмент дисплею запуску рецепту

Зміну станів ми використовували в якості тригера для запису в архів та відображення на трендах в граничних ступенях. У [PAC Framework](#) номера кроків наскрізні через всі стани, що дало можливість досягти ще більшої деталізації по трендам.

Під час впровадження перших проектів ми мали певний негативний досвід, який врахували в наступних проектах. Зокрема, перший проект містив повний набір операторських команд зі стандарту: START, STOP, PAUSE, RESTART, HOLD, RESUME, ABORT, RESET (рис.14). Оператори часто плуталися, наприклад натискали ABORT замість STOP. Окрім надмірної кількості команд, було ще кілька причин:

- відсутність повноцінного навчання операторів, які так і не розуміли відмінність між командами;

- невдалий людино-машинний інтерфейс; у нас зараз до цього проекту багато претензій ☺;
- відсутність обмеження в доступі для виклику спеціальних команд; команда ABORT повинна викликатися тільки під паролем.

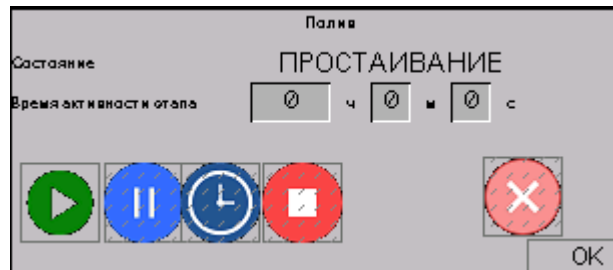


Рис. 14. Вікно керування процедурою:
велика кількість кнопок плутає оператора

У наступних проектах ми об'єднали команди схожі за призначенням (START, RESTART, RESUME), ввели обмеження на доступ до особливої команди ABORT, прибрали команди HOLD та PAUSE в процедурах, де вони не були передбачені.

Звіти по виробництву партії, простежуваність.

Однією із найбільших переваг впровадження стандарту – це спрощення реалізації формування архіву та звітів по виробництву партії, яка допомагає внутрішній простежуваності процесів виробництва. Стандарт вказує на те, які дані слід зберігати, яким чином організовувати логічне зв'язування записів. Четверта частина стандарту «Batch Control Part 4: Batch Production Records» детально описує необхідну структуру записів при потребі обміну записами між різними підсистемами. У своїх проектах у нас не було необхідності такого обміну, тому ми реалізовували архівування в зручному і достатньому для нас вигляді.

Для кожного керівного рецепту створювався окремий запис, який мав унікальне поле, рівне ID партії. Для цього запису вказувалася початок та кінець партії, ID технологічного вузлу та додаткова інформація (наприклад, час перебування в стані HOLDING). У окремі таблиці писалися події по зміні стану процедурних елементів, та параметри рецептів, в яких поле BATCH ID вказувало на номер партії, в контексті якої вони виконувалися. Таким чином, BATCH ID став найголовнішим критерієм при фільтрації даних у вибірках, який давав можливість отримати усі дані за вказаним ідентифікатором партії.

У одному з проектів архівування даних проводилося безпосередньо на ПЛК. Це може здатися дивним, але виявилось, що зберігати дані по партії в ПЛК зручніше, ніж в SCADA/HMI. Інша справа - формування

звітів за цими даними. У тому проекті файли за необхідності копіювалися на ПК, де аналізувалися в Excel з використанням скриптів VBA. Тоді це було найшвидшим рішенням, але зараз у нас є інше бачення рішення для такого типу задач.

У іншому проекті усі дані окрім рецептурних писалися в SCADA класичними способами: тренди додатково включали номер кроку, журнали подій включали події змін станів процедурних елементів. В окрему таблицю БД додатково зберігався запис керівного рецепта. Це дало можливість достатньо просто реалізувати онлайн звіти, як показано на Рис. 15. Тренди виводилися за вказаний період від початку до кінця виготовлення партії.

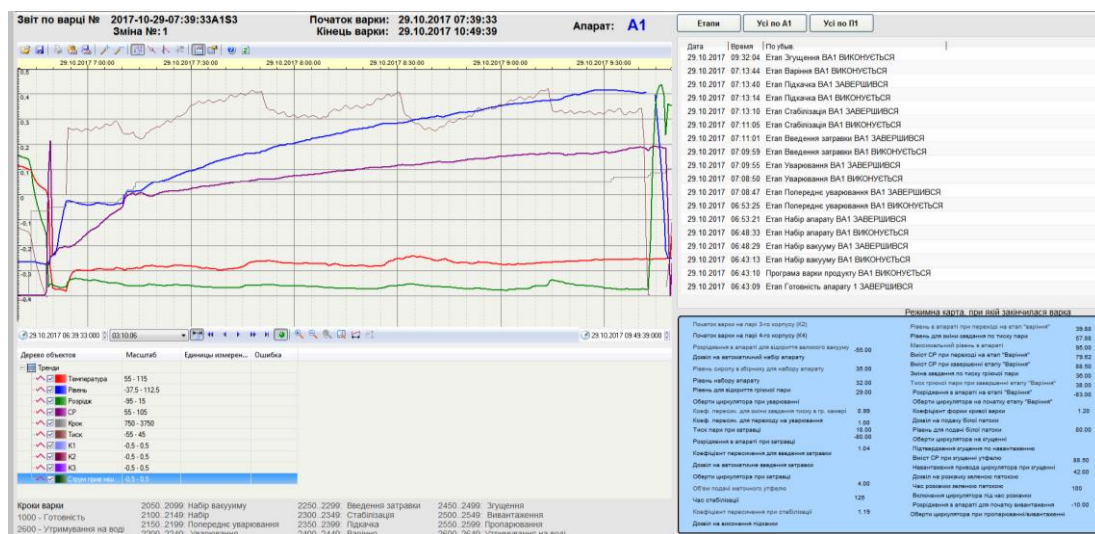


Рис. 15. Онлайн звіт по варці

Зробивши кілька проектів з використанням елементів стандарту означених в ІЕС-61512, ми зробили наступні висновки:

- стандарт повинні знати усі спеціалісти з автоматизації технологічних процесів та виробництв, так як він вміщує методологічні засади побудови алгоритмічного та програмного забезпечення систем керування;
- впровадження стандарту не обов'язково повинно бути повним, не всі виробництва цього потребують
- ми виділили основні ключові моменти, які повинні стати базовими для всіх систем: відділення процедурного керування від базового, означення режимів і станів, означення чіткого автоматизу станів для процедурних елементів, означення ієрархії устаткування, наявність керівних рецептів та майстер-рецептів для рецептурного виробництва;

- реалізація стандарту можлива без використання спеціалізованого ПЗ, хоча останнє може значно зменшити трудозатрати та збільшити функціональність;
- реалізація стандарту можлива навіть з використанням ресурсів ПЛК «середньої каналності» (наприклад S7 1200, Modicon M241)
- за умови використання керівних рецептів простежуваність процесів в межах технологічної комірки реалізовується досить просто стандартними засобами SCADA та PLC.

6.2. Про досвід впровадження інших колег

Нам, нажаль, особисто не відомі українські колеги, які впроваджували свої системи керування згідно стандарту ІЕС 61512. Враховуючи наші активні пошуки, ми можемо зробити два припущення: 1) таких людей в Україні мало і вони не є публічними, що, до речі, дуже характерно для автоматників; 2) таких людей в Україні немає, або вони працюють виключно за кордоном.

Ми чули певні відгуки автоматників, що обслуговували такі системи. Зокрема, вони виділяли зручність і багатофункціональність. Двічі нам зустрічалося наслідування чужих проєктів, що базувалися на ІЕС 61512. Дотепним був той факт, що ці проєкти протиставлялися стандарту ІЕС 61512. Тобто, на нашу фразу «Такі системи робляться за стандартом ISA-88 (ІЕС 61512)» відповідали приблизно так «То все теорія, а от подивіться як роблять практики!». Це черговий раз показує скептичне відношення спеціалістів з автоматизації до стандартів, при цьому наслідуючи готові чужі реалізації.

Тим не менше, наш колега по цеху, Ярослав Люлько із ТОВ Сілоджик Груп, мав досвід впровадження хоч і не самого ІЕС 61512, але специфікації RackML (вірніше концепції OPL, що на ній основана), яка у свою чергу базується на ISA-TR88.00.02 Machine and Unit States: An Implementation Example of ISA-88 (2008). Ми взяли в нього інтерв'ю, яке повністю можна прочитати за [посиланням](#). Також про технічні деталі впровадження Ви можете подивитися на відео запису з його виступу на [ТДА16-2](#). Нижче коротко наведемо основний зміст інтерв'ю.

Основне призначення впровадження системи керування згідно концепції OPL на вказаному підприємстві – було контроль роботи лінії на предмет виявлення вузьких місць. Лінія включала різне устаткування: рецептурні станції, дозувальні станції, СІР-станції, пакувальні машини, печі, охолоджуючі тунелі та ін. Використання RackML зрештою потрібне було

для розрахунку виробничих KPI, зокрема OEE. Для цього для технологічного устаткування було забезпечено передачу:

- режимів роботи технологічних вузлів (автоматичний, ручний, налагодження чи інший);
- станів (означено 17 станів);
- лічильників загальної та відбракованої продукції;
- поточної швидкості;
- причини зупинки (за ідентифікатором категорії причини зупинки).

Сам OEE повинен був розраховуватися (проект ще не завершено) на базі станів, лічильників, значеннях проектованої та поточної швидкості. Визначивши OEE та знайшовши вузьке місце лінії можна скористатись статистикою причин зупинок, щоб визначити чому OEE має таке низьке значення.

Ярослав виділяє наступні переваги використання PackML:

1. термінологія: коли різні розробники розуміють певні поняття однаково;
2. певний ієрархічний порядок проекту: швидко орієнтуєшся у чужому коді;
3. модульність: розробка програми базується на комбінації певних модулів (шматків коду, блоків);
4. інтегрованість: підхід до проекту з думкою про те, що він має бути готовим як до горизонтальної так і до вертикальної інтеграції;
5. економія часу: «замовник зекономив би велику кількість часу та ресурсів, якби всі Unit`и на його виробничих лініях були розроблені згідно стандарту PackML».

Ярослав використовує певний «скелет» для своїх проектів ПЛК. Код цього проекту взаємодіє з даними стандарту PackML заповнюючи їх, або ж, у разі необхідності, звертаючись до них ([деталі](#)).

Ярослав має великий практичний досвід впровадження різних систем керування, тому ми спитали його і щодо потреб стандарту IEC 61512, тобто функцій, що не входять в PackML. Серед найбільш затребуваних функцій він виділив Batch-звіти для внутрішньої простежуваності процесів виготовлення партії. «Також для рецептурних станцій просять додати гнучкості у процедуру приготування. В основному продукція виготовляється за чітко написаною програмою контролера (послідовність операцій без варіантів). Коли вони хочуть проєкспериментувати, наприклад, якусь операцію пропустити, повторити, то доводиться розбирати та правити практично весь код.»

Ярослав вважає, що автоматизму обов'язково потрібно знати основи стандарту ISA-88 (IEC-61512). «У стандарті зібрані найкращі практики сві-

тових лідерів автоматизації, тому треба використовувати ці напрацьовані. Як результат - проекти будуть більш структуровані, гнучкі та функціональні».

На думку Ярослава, причина в одиницності реалізацій стандарту криється у відсутності навчальних дисциплін у ЗВО. Відповідно покращення ситуації можливе в результаті навчання студентів та перепідготовки спеціалістів.

Також ми спілкувалися з колегами з Білорусі, які приймали участь в опитуванні. Враховуючи що вони представляли бік не тільки замовника, а і розробника, найбільшими перевагами впровадження стандарту вони вважають:

- кращі практики декомпозиції об'єкту керування, що добре лягають на об'єктно-орієнтований підхід, що вони використовують у своїх проектах;
- спрощує інтегрування систем різного рівня, зокрема з MES/MOM та ERP на базі стандартів ISA-95 (IEC 62264);
- значно скорочує час впровадження нових систем, та спрощення експлуатації;
- дає основу для планування (поки не реалізували);
- дає основу для зміни рецептури технологом без зміни в програмне забезпечення (поки не реалізували);
- добре інтегрується з системою ТОiP (технічне обслуговування та ремонт);
- є відкритим а отже можна обговорювати труднощі з іншими колегами.

Будучи на одному з передових підприємств молочної промисловості нам вдалося також отримати зворотній зв'язок від використання системи керування, побудованої на базі IEC-61512. Враховуючи, що ми спілкувалися з програмістами АСКТП, вони назвали найбільшою перевагою простіше обслуговування алгоритмічно складної програми. Слід зазначити, що наявною системою вони користуються не в повному обсязі, так як багато функцій не є затребуваними.

6.3. Використання в навчальному процесі

Ми усвідомлюємо той факт, що стандарт не може впроваджуватися в Україні автоматиками без підготовки та перепідготовки спеціалістів. З 2016-го року на кафедрі [АКТСУ](#) Національного університету харчових технологій у навчальний процес був впроваджений курс по керуванню порційним виробництвом, матеріали якого доступні за [посиланням](#). У

2017-му та 2018-их роках ми також проводили 2-днівні курси по підготовці спеціалістів по ISA-88 (IEC-61512), матеріали для яких доступні [за цим посиланням](#). У цьому підрозділі ми поділимося досвідом проведення цих курсів, та думками щодо подальшого їх вдосконалення.

Звичайно, що проведення курсу для студентів-магістрантів та спеціалістів сильно відрізняється. Ми наразі не маємо зворотного зв'язку про використання ідей, викладених у курсі студентам магістрантам в реальних проектах. Протягом навчання студенти мали можливість прослухати теорію на лекціях і спробувати побудувати систему керування на практиці. Зрештою лабораторні роботи повинні були закінчитися готовою системою, як це показано [на відео](#). Така форма, де теорія дається в один час, а лабораторні в інший мабуть не є дуже вдалою. Це стосується не тільки викладання Batch Control, а й інших дисциплін. Найкращим способом, на нашу думку, є комбінація лекційної і лабораторної частин в одному занятті, хоч це розходиться з форматом офіційного навчання. Складність даного курсу для студентів також в тому, що вони не відчують виробничих потреб. Тим не менше, маємо сподівання, що основи курсу таки знайдуть відображення у їх реальних майбутніх проектах.

Дуже цікавими для нас, як для викладачів, були дводенні курси для спеціалістів. З цих курсів ми винесли багато нового, оскільки на семінарах викладачі вчаться не менше ніж слухачі. Нижче виділимо декілька факторів, на які ми особливо звернули увагу.

1. Явні скептики використання стандартів після курсів почали відноситися до даного стандарту як до кращих практик.
2. Кілька досвідчених спеціалістів, які розробляли багато великих та складних проектів, відкрили для себе автомат станів. Це було видно за їх реакціями і відгуками. Якби дати оцінку корисності підходів, які дає стандарт, автомат станів мабуть зайняв би перше місце.
3. Важко сприймався, але з часом ставав нормою для слухачів принцип відокремлення технології від устаткування, і відповідно процедурного керування від базового.
4. На курсах були слухачі, що мали певні представлення про Batch Control. Їх цікавили питання підходів щодо визначення процедурних елементів та виділення устаткування (апаратних об'єктів). На той час у нас не було такого досвіду, наразі є деякі напрацювання, однак вони потребують певної формалізації.
5. На курсах необхідно піднімати складні питання, які краще допомагають зрозуміти сутність ключових понять. Наприклад, було питання типу: «Чи є пастеризатор технологічним вузлом порційного типу і чому?», навколо якого піднялася цікава дискусія.

6. Слухачі пропонували цікаві пропозиції, які перекликаються з викладеними в розділі 4 даної книги. Це черговий раз доводить необхідність таких семінарів, де спеціалісти можуть спільно вирішити ряд насущних задач.
7. На курсах було мало практичних занять, з іншого боку – він був пересичений лекційним матеріалом. З цього можна зробити висновки, що курс треба робити більшим (4 або 5 днів) але обов'язково з практичними заняттями.

У загальному навіть 2-дневний теоретичний курс дає хороший поштовх для сприйняття основних ідей стандарту. Ми плануємо продовжувати їх проводити і в майбутньому з урахуванням наведених вище факторів.

ВИСНОВКИ

Провівши ряд робіт по аналізу світового та вітчизняного ринку щодо потреб порційного (і не тільки) виробництва, розроблюваних систем керування, використання стандарту IEC 61512 та обізнаності щодо нього, а також власного досвіду, спробуємо зробити певні узагальнення щодо теперішнього стану.

1. Обізнаність вітчизняного ринку щодо переваг використання та навіть існування стандарту IEC 61512 або ISA-88 вкрай низька. Про це свідчать як опитування, так і власні спостереження. У той же час у світі стандарт досить поширений, хоч статистику його використання ми не мали можливості дослідити.

2. Найбільш затребуваними у порційному виробництві є задачі простежування продукції, виробничі звіти, гнучкість у використанні устаткування, змінна рецептура, у меншій мірі – зміна процедури рецептів.

3. Впровадження повного функціоналу, зазначеного в стандарті, в Україні має поодинокі випадки. При цьому системи розроблялися зарубіжними інжиніринговими компаніями. Нам не відомі українські інтегратори, хто б пропонував реалізацію таких систем.

4. Опитування показує, що хоч є проблеми з обізнаністю як виробників, так і в інтеграторів, скептичності в сприйнятті стандартів немає. Хоч наші власні спостереження говорять, що відношення більшості автоматників до стандарту здебільшого є скептичним, однак при детальному ознайомленні беруть деякі функції на озброєння (наприклад, автомат станів). При цьому спостерігається наслідування систем керування, які базуються на стандарті.

5. Аналіз зарубіжних джерел та власний досвід авторів дав можливість виділити наступні переваги впровадження стандарту:

- дає можливість змінних рецептів, включаючи зміни процедури;
- дає виробничу гнучкість;
- забезпечує контроль версій рецептів;
- спрощує реалізацію звітності по виробництву партії, простежуваність;
- спрощує реалізацію виробничих KPI;
- означає одну мову спілкування між технологами і автоматниками;
- краще формалізує алгоритми, особливо щодо технології;
- допомагає структурувати прикладну програму;
- як результат зменшує час впровадження та спрощує обслуговування;
- спрощує вертикальну та горизонтальну інтеграцію;

6. Стандарт може реалізовуватися частково, про що свідчить аналіз зарубіжних джерел та власний досвід. При цьому не потребується спеціалізоване ПЗ.

7. Стандарт використовується не тільки для порційних виробництв, і може стати основою для розробки систем керування усіма іншими типами. Зокрема, вже зараз є похідні стандарти (в розробці ISA-106) та специфікації (ISA-TR88.00.02, PackML).

8. Стандарт входить в перелік основних в еталонній моделі RAMI4.0 німецької програми Industry4.0. Це черговий раз говорить про актуальність стандарту.

З урахуванням вищесказаного, ми вважаємо що зробивши певні кроки можна значно покращити ситуацію в найближчому майбутньому.

1. Імплементація стандартів. Технічний комітет ТК 185 вже прийняв ряд рішень і найближчим часом стандарт ІЕС 61512 разом з іншими не менш важливими стандартами, які просуваються в рамках проекту [aCampus](#), буде прийнятий методом підтвердження. Це зробить даний стандарт не просто кращими практиками, а затвердженими на державному рівні, що дасть можливість посилатися на нього, як на офіційний документ. На 2020 рік планується затвердити його методом перекладу.

2. Просування стандартів. Перший великий крок по перекладу і просуванню стандарту (разом з іншими) вже зроблений – це роботи в проекті [aCampus](#), в рамках якого було створено цю білу книгу. Ми вважаємо, що цей проект зробить ІЕС 61512 та усі інші стандарти більш популярним та затребуваним. Не можна сказати, що це є першими роботами у цьому напрямку, так як ТК офіційно працює з 2017-го року. А до того робочі групи комітету займалися цими стандартами вже кілька років, про що свідчать численні матеріали, що викладені на [сайті проекту](#). Однак цей проект об'єднав зусилля великої кількості експертів, інформаційних партнерів та інші організації для досягнення чітко означених цілей, з означеним планом та термінами.

У рамках даної роботи вже зроблений переклад першої основної частини стандарту українською мовою, з яким можна ознайомитися [за посиланням](#). Окрім перекладу та білої книги найближчим часом планується випустити посібник по впровадженню стандарту. Ми не перестанемо популяризувати даний стандарт на конференціях та семінарах і після завершення проекту, так як для нашої команди, а також для ТК він є одним із фундаментальних.

3. Навчальний матеріал. На [сайті проекту](#) вже доступні навчальні матеріали українською мовою, у тому числі конспект лекцій та лабораторний практикум. Також до кінця 2020 року ми плануємо випустити навча-

льний посібник, який на нашу думку буде корисним як студентам так і спеціалістам.

4. Курси підготовки. Навчальні курси значно прискорять розуміння стандарту та їх впровадження. Ми розробили базовий теоретичний 2-дневний курс і плануємо його розширювати та доповнювати. Слідкуйте за [графіком курсів](#) або повідомляйте про бажання [записатися на курс](#).

5. Розробка та користування каркасу. Розробка проекту відповідно до стандарту значно прискориться при використанні готових шаблонів та каркасів. Ми почали проходити цей шлях і вже маємо певні здобутки, що зменшують час розробки та надають функціональність. Ви можете розробляти або вдосконалювати свої шаблони, а можете скористатися існуючим [PAC Framework](#).

6. Навчання замовника через кращі впровадження. Ми вважаємо, що перші вдалі реалізації вітчизняними інтеграторами систем відповідно до ІЕС 61512 покажуть замовникам всі можливості та переваги стандартизованого, сучасного підходу до побудови систем АСКТП в порційному виробництві.

Технічний комітет 185 «промислова автоматизація», Асоціація «підприємств промислової автоматизації України» (АППАУ) в свою чергу готові підтримати ці перші пілотні проекти впровадження, надати їм відповідний статус та промоцію.

Будьте першими!



Документ підготовлено в рамках проекту «Підтримка рамкових умов для торгівлі в Україні», який виконує Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH та фінансується Урядом Німеччини. Зміст публікацій є виключною відповідальністю їх авторів та не може сприйматись як такий, що відображає погляди Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.