



UDC 006.85

# ОГЛЯД СУЧАСНИХ СТАНДАРТІВ ІНТЕГРОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Review of modern integrated production standards.

Пупена О.<sup>1</sup>, Ельперін І.<sup>2</sup>, Міркевич Р.<sup>3</sup><sup>1, 2, 3</sup>Національний університет харчових технологій, КиївE-mails: <sup>1</sup>pupena\_san@ukr.net, <sup>2</sup>ivelperin@gmail.com, <sup>3</sup>roma\_mirkevich@mail.ru

Copyright © 2014 by author and the journal "Automation technological and business - processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Анотація

У статті розглянуті сучасні міжнародні стандарти ISA-95 та ISA-88 з розробки інтегрованих автоматизованих систем керування. Показана область дії стандартів в контексті ієрархічної моделі підприємства. Стаття побудована таким чином, щоб описати основну суть стандартів через призму основних описових моделей: означення продукту, ресурсів, планів-графіків і фактичних показників виробничої діяльності. Опис означення продукту дається через ієрархічне представлення продуктів на різних рівнях керування. Велика увага надається опису такого типу ресурсів як обладнання, яке являється зв'язним ланцюгом для всіх наведених стандартів. На прикладі стандарту керування періодичними процесами показаний зв'язок між означенням продукту та обладнанням, на якому він виготовляється. У статті показується ієрархія планування ERP-MES/MOM-SCADA (з точки зору стандарту ISA-95), в якій прослідковується декомпозиція загальних виробничих планів підприємства до конкретних робіт на рівні АСКТП. Розглядається призначення фактичних показників виробництва на рівні MES/MOM з урахуванням КРІ. Через загальні схеми діаграми взаємозв'язку діяльності та інформаційні потоки між функціями показана узагальнена картина операційної діяльності підприємства на рівні MES/MOM. Завершується стаття обґрунтуванням необхідності поширення, затвердження та розвитку стандартів ISA-88 та ISA-95 в Україні. Стаття має оглядовий характер і може бути корисною спеціалістам з комп'ютерно-інтегрованих систем керування а також керівництву виробничих підприємств, системних інтеграторів та постачальників.

## Ключові слова

ISA-88, ISA-95, управління технологічними операціями, MES

## Abstract

The article deals with modern international standards ISA-95 and ISA-88 to develop integrated automated control systems. Shown scope of standards in the context of a hierarchical model of the enterprise. Article built in such a way to describe the essence of the standards in the light of the basic descriptive models: product definition, resources, schedules and actual performance of production activities. Description of the product definition given by hierarchical presentation of products at various levels of management. Much attention is given to describe this type of resources like equipment, which is logical chain to all these standards. For example, the standard batch process control shows the relationship between the definition of product and equipment on which it is made. The article shows the hierarchy of planning ERP-MES / MOM-SCADA (in terms of standard ISA-95), which traced the decomposition of common production plans of enterprises for specific works at APCS. We consider the appointment of the actual performance of production at MES / MON considering KPI. A general scheme diagram of the relationship of activities and information flows between the functions of generalized picture shown operating on a level MES / MOM. Finished article rationale for distribution, approval and development of standards ISA-88 and ISA-95 in Ukraine. The article has an overview and can be useful to specialists in computer-integrated systems control and management of industrial enterprises, system integrators and suppliers.

## Keywords

ISA-88, ISA-95, Manufacturing Operations Management, MES.



### Роль стандартів в розробці інтегрованих автоматизованих систем керування.

Світова практика впровадження інтегрованих систем керування виробничим підприємством показує значне підвищення ефективності їх роботи за рахунок зменшення енергозатрат, виробничих простоїв, оптимального розподілу матеріальних та енергетичних потоків, використання прихованих резервів, підвищення спостережності та керованості об'єкту [1]. За останні 20 років людство значно просунулось у напрямку від часткової автоматизації технологічних та організаційно-економічних процесів до створення єдиного інтегрованого виробництва, впроваджуючи кращі практики в керуванні та новітні інформаційні технології. Результати цієї діяльності були затверджені у ряді міжнародних стандартів а також описані у великій кількості статей та посібників [2-5]. Великий внесок у цю діяльність зробила некомерційна організація MESA International [5], членами якої є виробники спеціалізованого програмного забезпечення, інтегратори, промисловці і фізичні особи у тому числі з академічної спільноти. Найбільш передові стандарти затвердила організація ISA (International Society of Automation) [6]. Наявність світових стандартів говорить про успішне використання затверджених в них технологій, а наявність навчальних посібників – існуючих шкіл підготовки кадрів.

На противагу такій великій кількості освітнього контенту в усьому світі, в Україні, на жаль, ці стандарти та викладені в них підходи практично не відомі спільноті автоматиків. Інформація про ці стандарти та їх призначення тільки недавнім часом почали з'являтися в українських ресурсах [7], а їх висвітлення практично відсутнє. Це значить, що до розробки інтегрованих автоматизованих систем керування навіть на вітчизняних виробничих підприємствах українські системні інтегратори практично не готові. Ми вважаємо, що для успішного розвитку галузі автоматизації в Україні необхідний аналіз та популяризація світових стандартів з подальшою їх локалізацією. Дана стаття призначена для ознайомлення з основними ідеями, закладеними в стандартах ISA-88, ISA-95 та комітеті ISA-106, які є найбільш вагомими для розробки інтегрованих автоматизованих систем керування.

Серед найбільш важливих стандартів, в яких систематизовані кращі практики розробки інтегрованих автоматизованих систем керування (IACK) є американські стандарти ANSI/ISA-95 [8-10] та аналогічні їм світові аналоги ІЕС-62264 (МЕК-62264), які по суті являються адаптацією ISA. В Україні, на жаль, ці стандарти не прийняті на державному рівні, не дивлячись на спрямованість на гармонізацію українських стандартів з європейськими. Для порівняння, у Росії прийняті та локалізовані ці стандарти як ГОСТ Р МЭК 62264-1[11] ще починаючи з 2010 року, що робить їх використання пріоритетними над корпоративними.

Для розуміння місця сучасних стандартів в інтегрованому виробництві, слід розглядати їх в контексті функціональної структури, яка наведена в першій частині ISA-95 (див. рис.1). Згідно цього стандарту ієрархія керування виробничим підприємством описується 4-ма рівнями: 1-й та 2-й рівень призначений для керування технологічним процесом, 3-й – керування виробничими операціями (MOM), 4-й – для бізнес-планування та логістики. Слід звернути увагу, що ця структура інтегрованого виробництва ніяким чином не накладає вимоги щодо конкретної реалізації функцій. Так, наприклад, деякі всесвітньо відомі програмні продукти охоплюють частину функцій з кожного з наведених рівнів, але не реалізують весь перерахований функціонал. З цих же причин 3-й рівень прийнято називати MOM (Manufacturing Operations Management) в протипагу MES(Manufacturing Execution System), так як MOM охоплює більше функцій, ніж це заявлено моделлю MESA. Так, наприклад, MOM включає в себе ряд функцій оперативного керування обслуговування фізичних активів підприємства, що не передбачається моделлю MES.

Виконання функції 4-го рівня як правило охоплюються системами типу ERP (Enterprise Resource Planning). Перша та друга частина стандарту ISA-95, які були затверджені першочергово, якраз призначені для вирішення проблем інтеграції систем ERP та MOM. Тобто вони направлені на опис (моделі) представлення даних, якими будуть обмінюватися ці системи та в деякій мірі правила цього обміну. Слід зазначити, що в стандартах немає вимог до внутрішньої структури цих систем та реалізації конкретних функцій, а тільки до їх взаємодії (опису даних) на різних рівнях керування, що дозволить інтегрувати різні, навіть існуючі реалізації, вносячи певні зміни до їх інтерфейсної частини.

Третя та четверта частина стандарту (ISA-95.03 та ISA-95.04) зосереджується на взаємодії функцій в середині рівня MOM, та з 2-м рівнем функціональної моделі. У деякій мірі цей стандарт описує модель самих функцій з точки зору взаємодії між ними. Як і в перших частинах описується тільки структура самих даних, якими обмінюються функції, а не програмний інтерфейс.

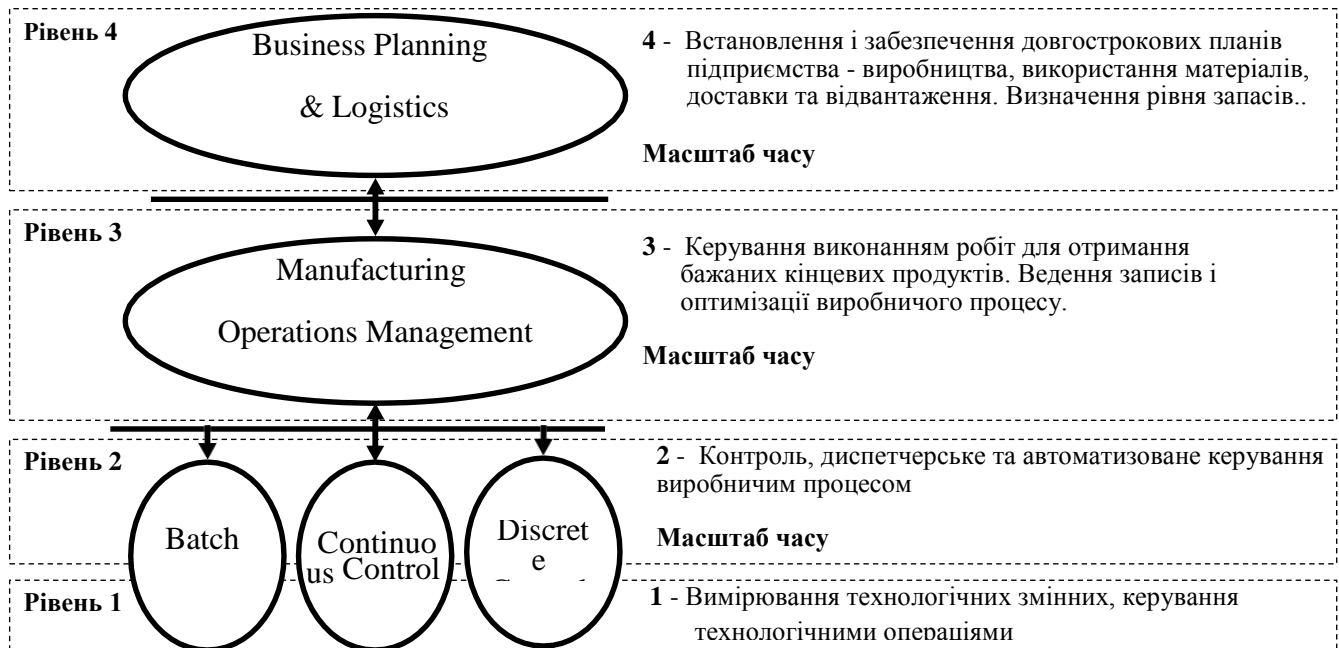


Рис.1 - Функціональна ієрархічна структура керування виробничим підприємством згідно ISA-95 (МЕК 62264)

Реалізація першого та другого рівня, згідно наведеної моделі, охоплюються автоматизованими системами керування технологічними процесами (АСКТП), на які не поширюється стандарт. Тим не менше, в даній моделі вже прийнято розділення між типами виробничих процесів:

1. Batch Control – керування періодичним (порційним, малосерійним) виробництвом
2. Continuous Control – керування неперервним виробництвом
3. Discrete Control – керування дискретним виробництвом

Це розділення зумовлене певними особливостями виробництва, що, як відомо, накладає свій слід на особливості керування виробничими процесами. Для інтегрування систем цих рівнів у загальну систему керування виробництвом вони повинні бути попередньо підготовлені. По-перше, керування виробничим підприємством вимагає представлення ресурсів і діяльності цих рівнів у вигляді моделей, які відрізняються для різних типів виробництв. По-друге, алгоритми керування 2-го рівня повинні враховувати необхідність реалізації двохсторонньої інтеграції за принципом: вниз – планування, вгору – фактичний стан. Для цього, в керуванні періодичним виробництвом (Batch Control) вже довгий час використовується стандарт ISA-88. У певній мірі адаптація стандарту зроблена також і для дискретних виробництв. Для неперервних виробництв теж існують адаптації стандартів ISA-88, тим не менше, вже біля десяти років ведуться роботи над стандартом ISA-106, який призначений саме для таких об'єктів. Зараз робота над стандартом триває, а попередні результати висвітлені в технічному звіті (ISA-TR106). У стандартах ISA-88 та ISA-106 закладені такі правила побудови систем керування технологічними процесами, які передбачають їх інтеграцію в єдину IACK, побудовану згідно стандарту ISA-95.

Таким чином, на сьогоднішній день група стандартів ISA охоплює керівну діяльність практично усіх 3-х нижніх рівнів ієрархії керування виробничим підприємством:

1. ISA 95.01 та ISA 95.02 – моделі даних в обміні між 3-м (MOM) і 4-м (ERP) рівнем
2. ISA 95.03 та ISA 95.04 – моделі даних в обміні між функціями 3-го рівня (MOM) та в деякій мірі обміну з 2-м
3. ISA 95.05 – високорівневий протокол для обміну даними 3-го (MOM) і 4-го (ERP) рівня
4. ISA 88.01, ISA 88.02, ISA 88.03, ISA 88.04, ISA-88.05 – стандарти для керування періодичним виробництвом
5. ISA TR88.02 – адаптація стандартів ISA-88 для задач пакування продукції (дискретні процеси)
6. ISA TR88-95.00.01 – технічний звіт про сумісне використання ISA-88 та ISA-95
7. ISA TR106 – технічний звіт по розробці стандартів керування неперервним виробництвом

Вище наведені тільки стандарти ISA, хоч у більшості з них є аналоги МЕК, які переважно приймаються шляхом простого затвердження. Враховуючи певну інерційність (не менш ніж три роки) в процесі затвердження європейських аналогів, нижче ми зупинимося на огляді тільки оригінальних американських версій.

#### Основні ідеї керування виробничим підприємством

Для можливості аналізу плинного стану виробничого підприємства та керуванням ним, його активи та діяльність повинні бути описані набором взаємопов'язаних моделей. Ключовою ідеєю стандартів є означення цих моделей на



різних рівнях керування та в різних виробничих областях. Стандарти дають чіткі інструкції щодо представлення виробничих ресурсів підприємства, їх стану, потенціалу та фактичного використання, щодо декомпозиції загальних функцій моніторингу та керування виробничими процесами, щодо планування випуску продукції та гнучкого формування нового типу продукту. Ці рекомендації були неодноразово перевірені на виробництві, тобто є кращими практиками. Тому навіть у випадку побудови систем керування без посилання на ці стандарти як нормативні, їх використання дає досить повне представлення категорій, якими можна описати будь-яке виробництво.

У загальному випадку, керування виробничими операціями можна описати набором взаємопов'язаних моделей:

- означення продукту, тобто з чого(матеріали) яким чином (необхідні роботи і вимоги до обладнання) виготовити продукт;
- доступні ресурси, тобто що є (матеріали, обладнання, інші ресурси) для виготовлення продукту;
- виробничий план, тобто коли і з якими доступними ресурсами планується виготовлювати продукт;
- фактичні показники виробництва, тобто як проходить виготовлення продукту.

У новій версії стандарту ISA-95, подібні моделі використовуються не тільки для опису керування виробничими операціями (Production Operations Management), але і для опису таких діяльностей як керування операціями технічного обслуговування (Maintenance Operations Management), керування операціями контролю якості (Quality operations management) та керування операціями матеріально-технічного забезпечення (Inventory operations management). Таке представлення розширює область дії стандарту ISA-95 на всі функції рівня MOM промислового підприємства а не тільки на виробничі. Тим не менше, стандарти ISA-88 та ISA-106 направлені саме на виробничі функції, тому нижче більше зосередимося на них.

### **Означення продукту (виробу)**

Першим розробленим стандартом із наведених вище став ISA-88, саме він заклав дуже важливі фундаментальні принципи керування виробництвом. Мабуть, найбільш новаторською концепцією в ньому стало розділення керівних діяльностей на дві різні категорії: керування технологічним процесом та керування роботою обладнання. Таке розділення дає можливість використовувати одне і те саме обладнання для виробництва різних продуктів, що є принциповим при виготовленні багатоасортиментної продукції за змінного технологічного регламенту. Необхідні матеріали (тип, кількість, вимоги), очікувані продукти (кількість, параметри), вимоги до обладнання, вимоги до додаткових ресурсів, потрібні роботи по керуванню процесом – все це описується в означенні продукту.

У термінах ISA-88, таке означення продукту записується в рецепті (Recipe), а в ISA-95 – в моделі означення виробу (Product definition model). Слід зазначити, що в самому означенні продукту вказується послідовність технологічних операцій, що дозволяє «програмувати» виробничий процес для окремого продукту. Це є принципово новим підходом, що дозволяє виробляти новостворені продукти, не вносячи при цьому зміни в структуру і програму системи керування. Однак такий підхід вимагає його підтримки на всіх рівнях керування, задіяних в цій функції. У термінах ISA-88 такі технологічні програми, які записуються в рецепті оперують технологічними термінами типу «нагріти до 80°C», «перемішувати протягом 30 хв», і називається процедурним керуванням (Procedural Control). Програма в рецептах (рецептурне керування) не може виконуватися без обладнання, тому передбачається що воно буде реалізоване з використанням апаратного керування (equipment control), що реалізоване в системі керування конкретним обладнанням.

У ISA-88 загальне означення продукту для конкретної технологічної комірки описується майстер рецептом (Master Recipe). Технологічна програма в майстер рецепті може виконуватися на різному обладнанні. Для кожної партії продукту створюється своя копія майстер рецепту з унікальним ідентифікатором (номером партії), в якій вказується вже конкретне обладнання, що буде задіяне в процесі. Ця копія, яка називається керівним рецептом (Control Recipe) в процесі приготування партії може змінюватися, зокрема: технологічні параметри, обладнання та технологічна програма. Крім того, керівний рецепт являється тим об'єктом, на якому зосереджується вся архівна інформація по проходженню процесу приготування цієї партії продукту, це дозволяє проводити її генеалогію.

У ISA-95 означення продукту описується моделлю означення виробу (Product Definition), як в свою чергу є частковим випадком моделі означення операції (Operation Definition). Нагадаємо, що нова версія стандарту ISA-95 надає універсальні моделі операцій (Operation), оскільки в перелік функцій входять не тільки виробничі діяльності (тобто робота з виробом), а і технічне обслуговування, організація робіт по забезпеченню якості та матеріально-технічного забезпечення. Хоч опис моделей може здатися досить складним (усі моделі в стандартах даються в нотації UML), по великому рахунку, вони описуються за тим же принципом що і в ISA-88.

### **Ресурси**

Для виробництва необхідного виробу (продукту) необхідні ресурси, які згідно стандартів також описуються набором моделей. У ISA-88 та ISA-106 окремо виділеними ресурсами є обладнання (Equipment) яке забезпечує вироблення продукції. Усі інші ресурси (необхідні матеріали, енергетичні ресурси, персонал) входять як параметри керування обладнанням, однак у ISA-95 для них передбачені окремі моделі. Моделі обладнання пересікаються у всіх наведених вище стандартах і являються їх «спільним знаменником» (рис.2).

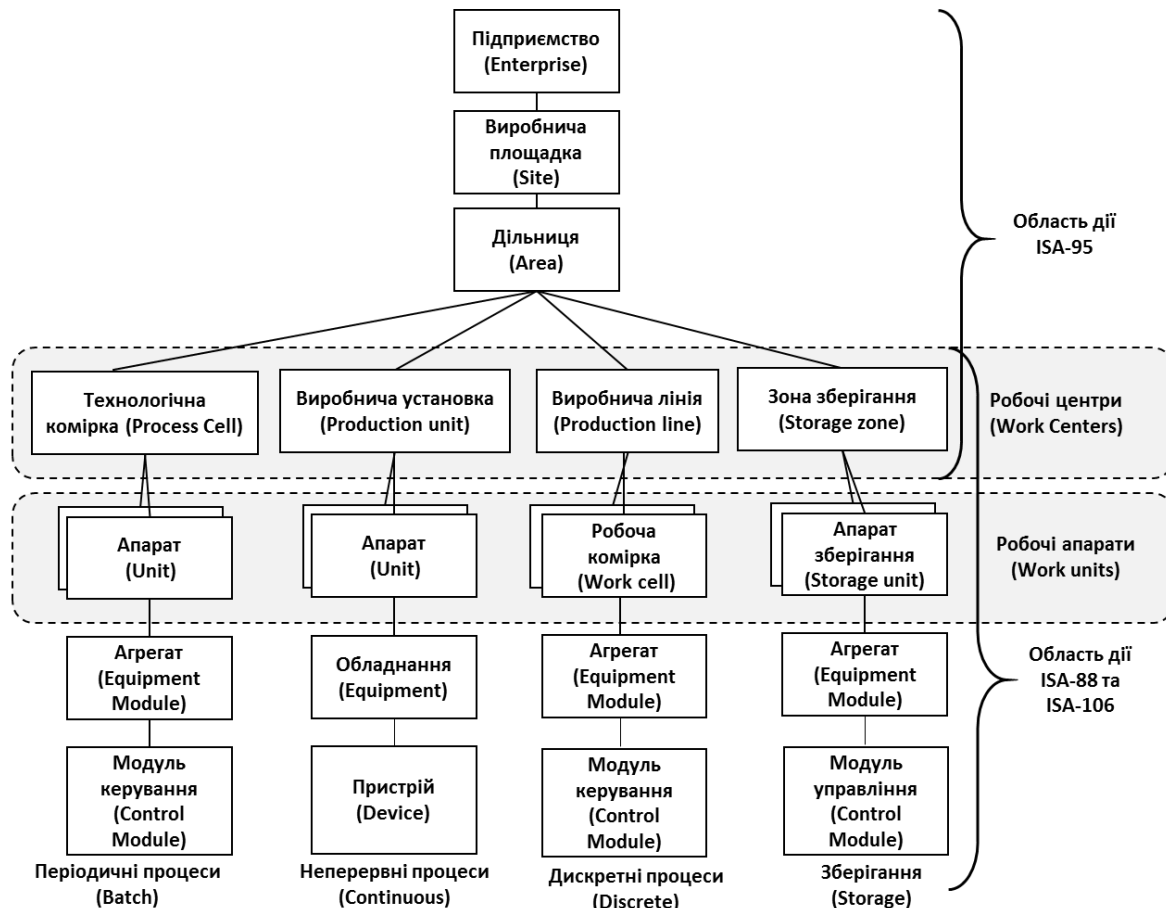


Рис.2 - Загальна модель ієрархії обладнання (фізична модель) для ISA-95 та ISA-88

Стандарт ISA-95 охоплює діяльність верхніх чотирьох рівнів фізичної моделі:

1. Підприємство (Enterprise) – це виробничий комплекс, що відповідає за певну номенклатуру виробів, які випускаються, виробничих площадок, на яких вони випускаються та способів виробництва. Наприклад, це може бути агропромислове підприємство з декількома цукровими заводами, розташованими в різних місцях.
2. Виробнича площадка (Site) - це група об'єднаних об'єктів що забезпечують виробництво, згідно календарного плану. Наприклад, це може бути завод.
3. Виробнича ділянка (Area) – це група об'єктів в рамках виробничої площадки, що забезпечує виробництво згідно виробничої потужності, характеризуються виробничими можливостями. Наприклад, для цукрового заводу це може бути лінія виробництва цукру-піску, для молочного – сирний цех або масло-цех;
4. Робочий центр – це технологічна комірка (Process Cell) для періодичних процесів, виробнича установка (Production Unit) для неперервних чи виробнича лінія (Production Line) для дискретних.
  - Представлення моделі технологічної комірки описується в ISA-88. Наприклад, для молочного виробництва технологічною коміркою може бути лінія приготування цільно-молочної продукції, або її частина;
  - Представлення моделі виробничої установки описується в технічних звітах ISA-106 [22, 23]. Прикладом виробничої установки для цукрового виробництва є усі відділення з неперервними процесами, в т.ч. тракт подачі і мийки буряку, дифузійне відділення, відділення очистки і т.д.
  - Представлення моделі технологічної лінії для дискретних виробництв може бути описана аналогічно як в ISA-TR88.00.02 [16]. Це, наприклад, можуть бути складальні лінії виробництва побутової техніки.

Крім того четвертий рівень також описується стандартами ISA-88 або ISA-106 разом з нижніми 3-ма.

У даній моделі під «обладнанням» розуміється певна сутність, яка має свою роль у виробничих операціях а також включає функції керування, що автоматизують їх. Таке об'єднання фізичного обладнання та функцій керування згідно ISA-88 називається апаратним об'єктом (Equipment Entity). Апаратний об'єкт має базові функції керування, які призначені для виконання певних операцій з конкретним обладнанням. Крім базового керування обладнанням, апаратний об'єкт повинен підтримувати процедурне керування, яке виконує операції, що були



«запрограмовані» і означені в рецепті технологом. Таким способом згідно ISA-88 взаємодіють рецепт і апаратний об'єкт, що дозволяє реалізовувати керування обладнанням окремо від реалізації алгоритмів керування технологічним процесом, а потім зв'язувати їх. Приклад такого зв'язування показаний на рисунку 3. Так, наприклад, етапи типу «нагріти до...», «перемішувати протягом...», «набрати ...» реалізовані і в процедурному і в апаратному об'єкті, які з'єднуються інформаційними потоками для передачі команд, параметрів та отримання плинних значень.

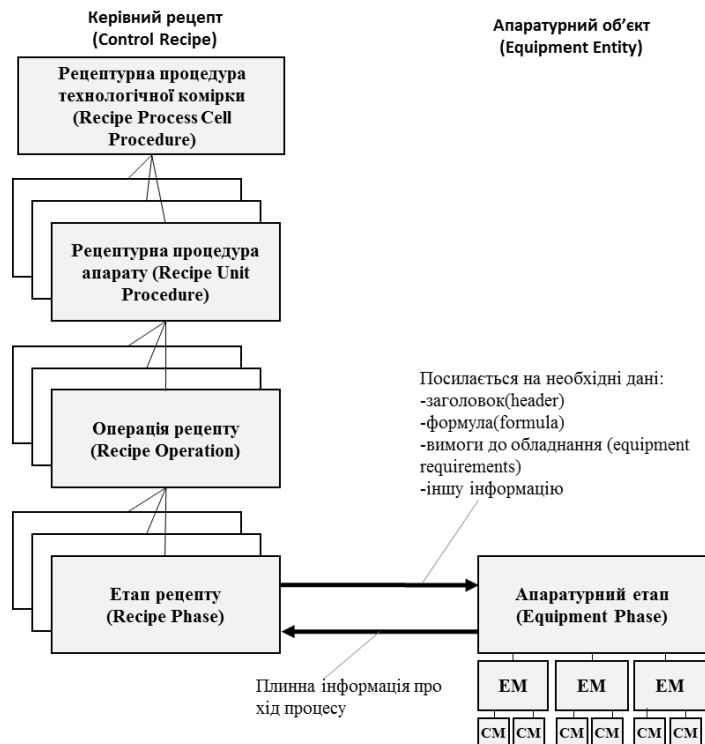


Рис.3 - Зв'язок рецепту з апаратним об'єктом на рівні етапу (phase) згідно ISA-88

Подібним чином відбувається взаємодія на верхніх рівнях, де означення необхідного продукту «спускається» з верхніх рівнів ієрархії керування до рівня робочих центрів (Work Center).

Моделі ресурсів, описані відповідно до ISA-95, дають можливість зробити запит на доступне на даний момент обладнання, персонал, матеріали та інші ресурси, які можуть бути або вже задіяні у виробництві. Враховуючи, що всі моделі взаємозв'язані, ресурс може бути вказаний в якості елемента посилання в означенні продукту, виробничого плану та фактичних показників виробництва.

#### Виробничі плани та виробничі вимоги

Правила формування виробничих планів не описані в даних стандартах, так як це сильно залежить від об'єкта керування та підходів до організації виробничих процесів. Тим не менше, передбачається, що підсистема, яка буде займатися формуванням та керуванням виробничим графіком буде оперувати описаними в стандартах моделями. Зокрема, вона буде орієнтуватися на необхідний план вироблення продукції, який передається з верхніх рівнів, означення продукту і доступних в потрібний момент ресурсів, які в ньому вказані. Згідно ISA-95 загальний виробничий план (Production Schedule) по випуску продукції (див. рис.4), який визначений на рівні організаційно-економічного керування, опускається до функції детального планування виробництва (Detailed Production Scheduling), які формують робочий план-графік (Work Schedule). Формування проводиться відповідно до означення продуктів, які необхідно виробити та доступних для цього ресурсів (обладнання, персоналу, матеріалів). Нижче розглянемо цей процес з використанням діаграми Ганта.

На рис. 5 показаний приклад вироблення шести лотів (великих партій) продуктів у вигляді діаграми Ганта. Горизонтальні лінії представляють собою робочі центри (Work Centers), які знаходяться на 4-му рівні ієрархії обладнання (див. рис.2). У даному прикладі для виготовлення лотів необхідно використовувати декілька робочих центрів, кожен з яких у свою чергу приймає участь у послідовності виробництва різних лотів продукції. Роботи на виробництво запланованих лотів у виробничому графіку називаються запитами на роботу (Work Request). У межах кожного робочого центру для виготовлення напівпродукту виконуються роботи (job). Кожна партія для напівпродукту виробляється в робочих апаратах (Work Unit), це найменша частина обладнання, якою може оперувати рівень MES/MOM згідно ISA-95 (див. рис. 2). Таким чином, для кожного робочого центру створюється свій графік (Resource Schedule) і в кожен момент часу для виробничої ділянки формується список робіт (Job List). Самі роботи виконуються згідно означеного в шаблоні робіт (Work Master) порядку робіт (Job Order).

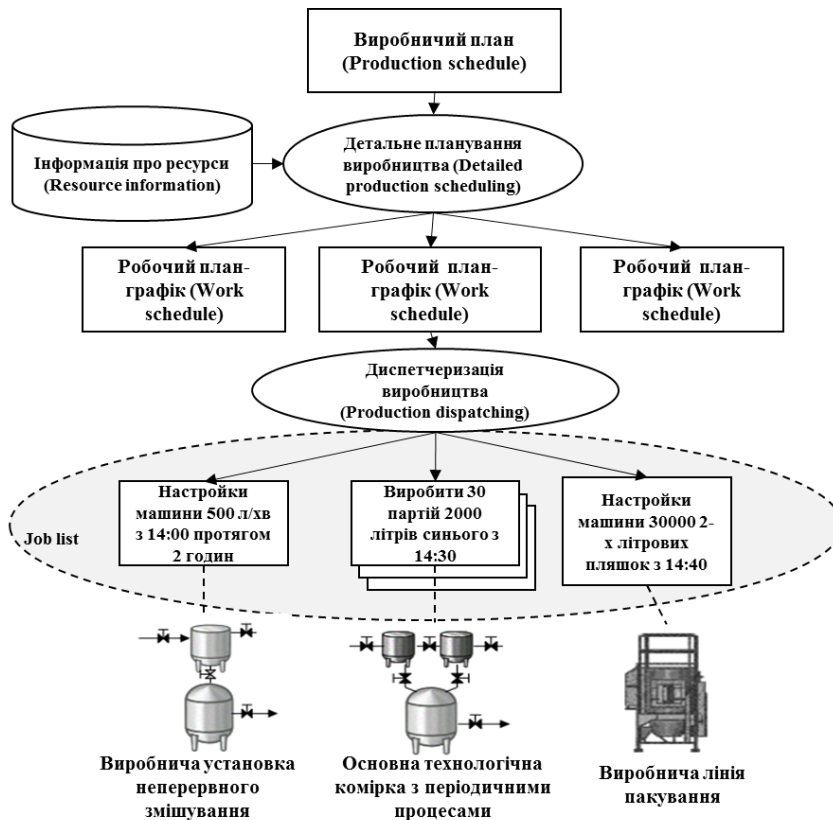


Рис.4 - Ієрархія планування

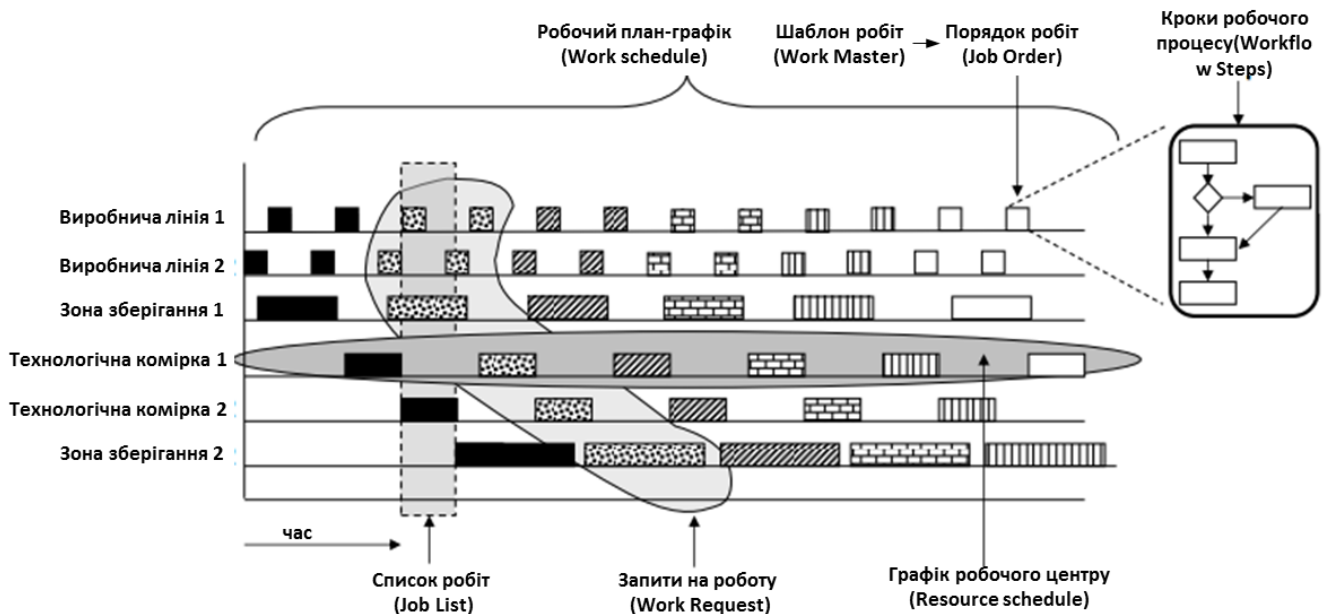


Рис.5 - Приклад робочого графіку у вигляді діаграми Ганта

Згідно ISA-88, планування та виробничі графіки є одним із видів керівної діяльності, необхідного для керування періодичними процесами. Графік виробництва партій визначає які апарати в який момент часу будуть використовуватися для вироблення конкретної партії продукту. Розглянемо зв'язок планування через призму всіх рівнів підприємства (див. рис.5, рис.6). Виробничий план (нагадуємо, що виробництво один з видів операційної діяльності підприємства) у результаті детального планування (Detailed Scheduling) розподіляється між робочими центрами у вигляді робочих планів-графіків (Work Schedule). Функція диспетчерського керування (Dispatching) в



реальному часі формує та відслідковує виконання списку робіт в конкретному робочому центрі (технологічній комірці). Керування та контроль технологічною коміркою виконується відповідно до означення продукту, який згідно ISA-88 для кожної партії задається керівним рецептом (Control Recipe).

Слід зауважити, що послідовне «опускання» графіків проводиться тільки після функції планування, яка в свою чергу запитує з нижніх рівнів наявні ресурси. Тобто таке рішення приймається в результаті постійного двостороннього обміну між різними рівнями керування. На рис.6 видно, що організаційно-економічний рівень отримує з MES/MOM інформацію про виробничі можливості (Production Capability). Тут доречно відмітити, що в ISA-95 є ряд моделей, які об'єднують різні типи інформації (різних ресурсів, діяльності) і називаються сегментами (сегмент процесу, сегмент продукту). Виробничі можливості надаються верхньому рівню через сегмент процесу.

По рис.5 та 6 можна прослідити ієрархію означення продукту: Product (Operation) Definition (рівень ERP) -> Work Master (рівень MES/MOM) -> Master Recipe (рівень АСКТП). Враховуючи, що означення продукту передбачає можливість його використання на різному обладнанні, для конкретного лоту і партії будуть створені унікальні їх екземпляри, відповідно Work-Directive та Work Recipe, які також будуть слугувати маркером для історії створення партії та лоту. Слід в черговий раз відмітити, що партія в даному випадку буде являтися частиною лоту.

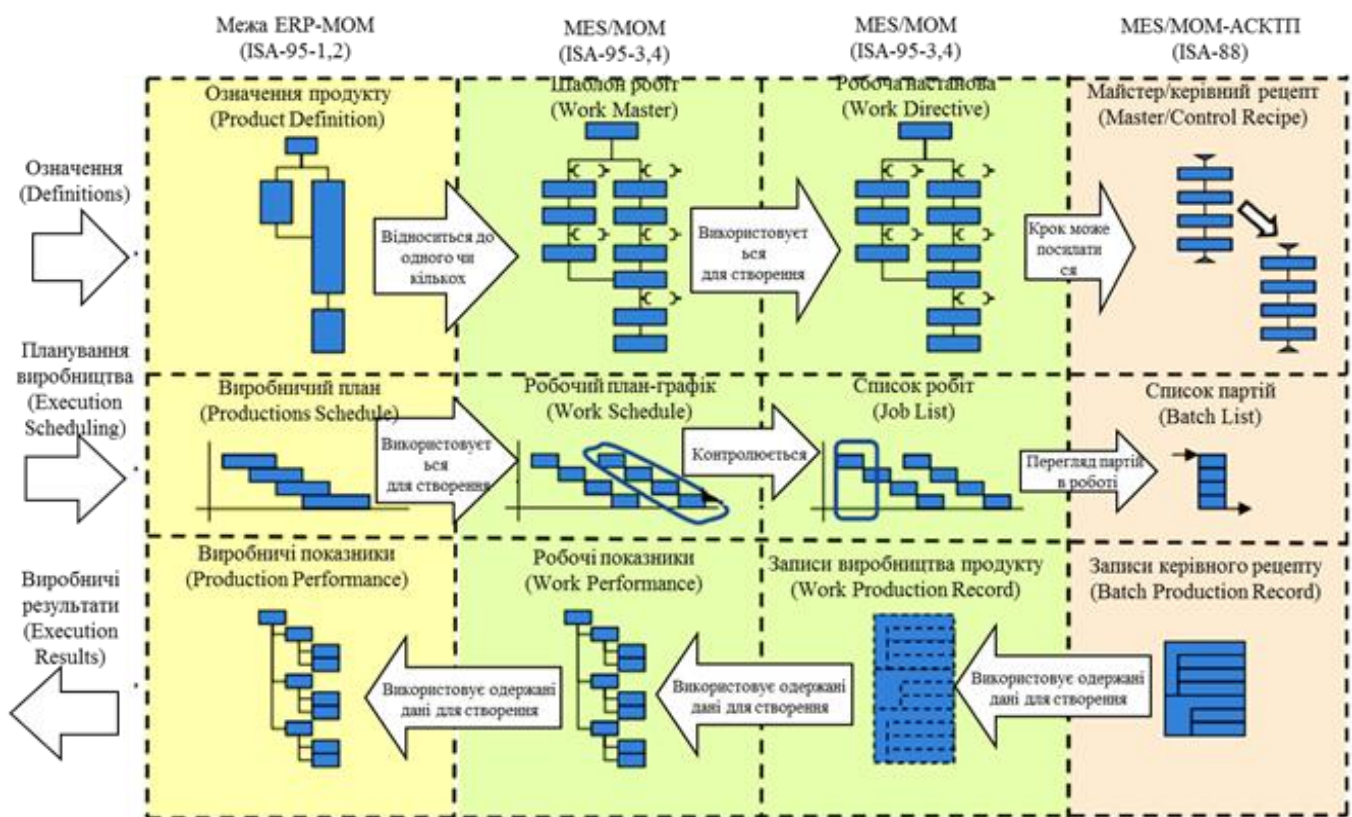


Рис.6 - Діаграма взаємозв'язку діяльностей, описаних в ISA-95 та ISA-88

При детальному вивченні стандартів можна помітити, що функції планування, які визначені в ISA-88 та ISA-95 можуть не тільки являтися частиною єдиної ієрархії але і перекриватися. Це саме стосується і інших керівних функцій. Наприклад згідно стандарту ISA-88 партія продукту (Batch) може бути як повністю готовим до споживання продуктом, так і напівпродуктом (проміжним продуктом виробництва). Насамперед це пов'язано з універсальністю моделі, адже MES/MOM функціонує не тільки в періодичному виробництві. Крім того, не всі системи керування реалізують повний функціонал ISA-88. З іншого боку, програмні продукти, що реалізують весь функціонал ISA-88 можуть використовуватися на рівні MES/MOM.

#### Фактичні показники виробництва

Для контролю за виконанням виробничих графіків, аналізу виробництва в реальному часі та ретроспективних даних система повинна надавати інформацію про стан об'єкту та процесів. Для опису цієї інформації означено ряд моделей та їх комбінацій. Розглянемо слідування інформаційних потоків фактичних показників виробництва через ієрархію керування (див. рис.6). Дані про стан процесу надходять на рівень MES/MOM через функцію збору даних (Data Collection). Окрім збору і надання іншим функціям даних режиму реального часу, ця функція також забезпечує





архівування даних з наступним їх переглядом. Зібрані дані в «сирому» вигляді не потрібні виробничому персоналу MES/MOM та ERP, тому їх попередньо необхідно обробити до максимальної інформативності. Тобто зібрані дані, як правило, перевіряються на знаходження в межах нормативних значень (Alert) а також відображаються у вигляді ключових показників ефективності (KPI). Останні можуть також проходити перевірку для формування в реальному часі попереджень (Work Alert) про недостатньо хорошу роботу апарату, процесу чи машини через функції аналізу ефективності (Performance Analysis). Враховуючи велике значення методики розрахунку KPI на виробництві, недавно був розроблений стандарт ISO 22400, друга частина якого описує типовий набір показників ефективності та алгоритми їх розрахунку[24].

Важливою функцією MES/MOM є відслідковування (Tracking) або яку ще називають генеалогією, що дозволяє визначати історію виготовлення конкретної партії чи лоту продукту: задані та дійсні технологічні параметри, при яких готовився продукт; якісні та кількісні показники сировини та продукту; означення продукту, тощо. Згідно ISA-88, для періодичних процесів відслідковування забезпечується шляхом аналізу архівних записів керівного рецепту (Batch Production Record) по його номеру партії.

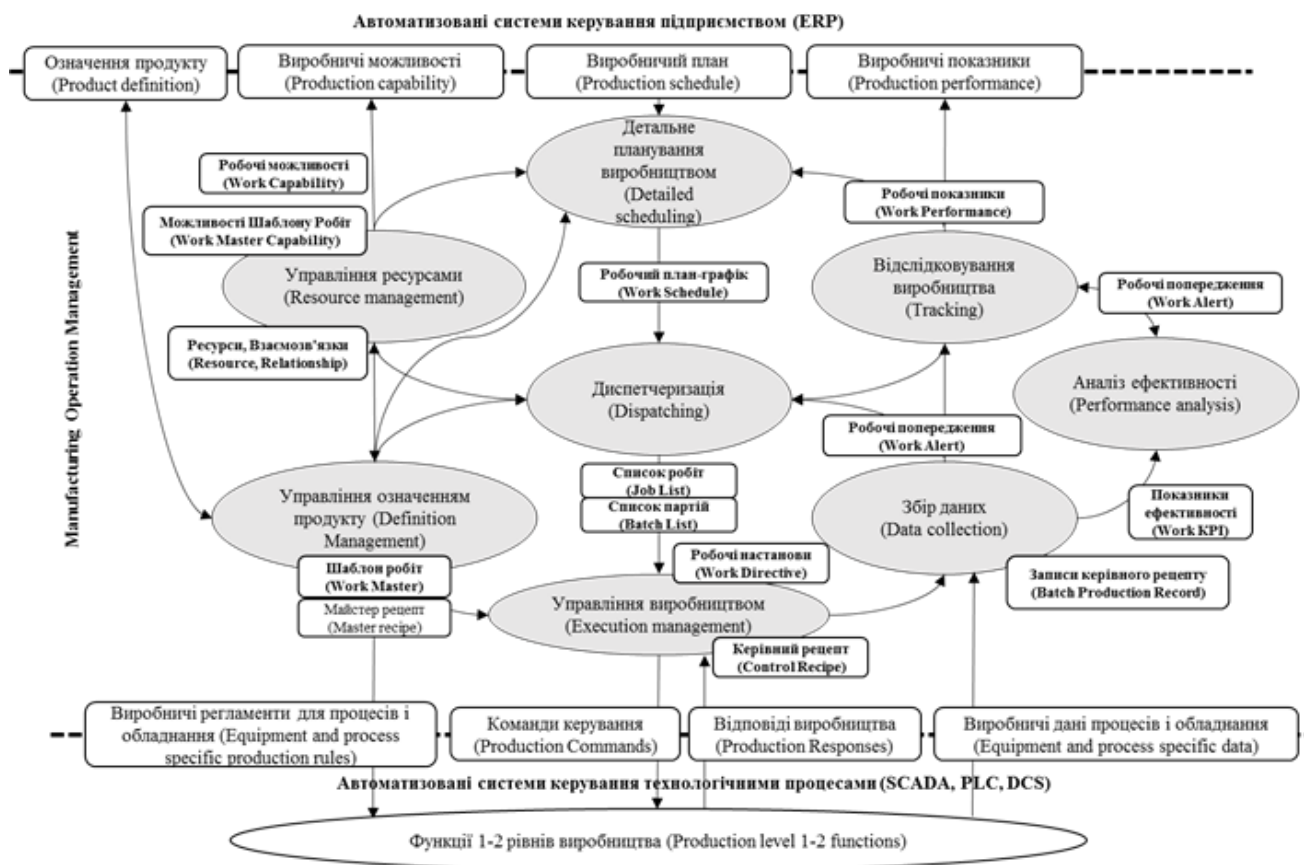


Рис.7 - Інформаційні потоки між функціями рівня MES/MOM та іншими згідно ISA-95

Підводячи ризик під описом основних ідей керування виробничим підприємством наведемо тезисно їх функціонал. ISA-95 – це стандарти, в яких описується організація функціонування інтегрованого виробництва та наведені моделі даних, якими обмінюються функціональні частини інтегрованої системи керування підприємством. Тобто ISA-95 – це стандарт інтеграції ERP з MOM, MOM з АСУТП, та складових MES/MOM між собою.

ISA-88 – це стандарти керування періодичними процесами. Так як і в ISA-95, у основі стандарту лежать принципи означення продукту (в рецепті) та означення ресурсу-обладнання, на якому виконується цей рецепт. Усі інші ресурси (персонал, матеріали, енергоресурси) входять в рецепт в якості формули або додаткових вимог. У рецепт окрім формули входить також процедура – технологічна програма виготовлення продукту. Рецепт, в тому числі і процедура, створюється технологами без необхідності внесення змін в систему керування. Це і є основною перевагою систем, побудованих на базі ISA-88 над класичними монолітними системами керування, адже нові продукти можна створювати без модернізації існуючої системи. Зауважимо, що в параметри рецепту можуть входити також аварійні межі та алгоритми обробки винятків, які залежать від технології продукту.

Кожна партія (batch) виготовленого продукту керується на базі унікального керівного рецепту, який зберігається в архів разом зі значенням технологічних змінних процесу, при яких готовилася ця партія. Такий підхід дає



можливість відслідковувати історію виготовлення партії по її ідентифікатору. Це ще один великий здобуток даного стандарту. Технології стандарту полегшують планування та робить гнучкішим використання обладнання.

### **Необхідність та перспективи впровадження стандартів в Україні**

Як ми зазначили на початку, не дивлячись на перевірену в усьому світі ефективність вказаних стандартів, в Україні вони мало відомі. Опитування в соціальних мережах, спілкування з виробничим персоналом підприємств, представниками світових брендів та інтеграторами в Україні показав дуже слабку обізнаність навіть в існуванні даних стандартів, не кажучи про їх призначення, а тим більше використання. Це показує незадовільний стан підготовки українських інженерів з автоматизації на рівні виробництва. Нижче розглянемо, до чого це може приводити і які поліпшення можна зробити в напрямку розвитку.

Ряд виробництв з домінуючими періодичними процесами (наприклад фармацевтичне), на рівні обов'язкових для впровадження міжнародних стандартів вимагають використання ISA-88. Відсутність функціоналу, що базується на рецептурному керуванні не дає можливості створювати нові рецепти та проводити генеалогію продукту, не кажучи вже про оперативне планування. Дотепно, що зустрічалися випадки використання інженерами з автоматизації інструментальних засобів на базі ISA-88 без обізнаності принципів їх функціонування. При цьому інженери просто наслідували існуючу реалізацію, самостійно розбираючись в ній методом проб і помилок. У більшості ж випадків, необхідний функціонал виводиться самостійно, що значно затягує життєвий цикл проекту та сильно ускладнює інтеграцію підсистем в єдину систему.

Роботи по стандарту ISA-106 хоч і не є завершеними, з основними концепціями і результатами його використання можна ознайомитися в Інтернеті. Як відмічав у своїй статті Дейв Емерсон [25] автоматизація процедур запуску, зупинки, виходу з нештатної ситуації та переходу на інший продукт дають можливість значно забезпечити технологічний процес від аварій та зменшити часові та енергетичні втрати. Такі підходи не є новими, зокрема вони відомі як підсистеми підтримки прийняття рішень. Однак більшість систем керування неперервним виробництвом традиційно базуються виключно на регулюванні.

Щодо стандартів ISA-95, їх застосування в інструментальних засобах не є тотальним. Велика частина реалізацій не опираються на даний стандарт, а зроблені з використанням власних підходів і важко інтегруються з іншими підсистемами. Разом з тим, у всіх цих реалізаціях часто зустрічаються загальні вади, які виходять з невідповідності нижніх рівнів керування. Так, наприклад, неодноразово визначалося відсутність контролю достовірності даних, що унеможливило надійний розрахунок балансів та KPI на верхніх рівнях. Це потребує розробки нижніх рівнів керування підприємством з урахуванням їх інтеграції в інтегровану систему керування. Єдина модель обладнання ISA-95, ISA-88, ISA-106 дозволяє розробляти програмне забезпечення, скажімо, для ПЛК та SCADA/HMI, з урахуванням їх подальшої інтеграції з верхнім рівнем.

Виділимо, що на нашу думку варто розглядати дані стандарти в якості посібників по автоматизації виробництва та інтеграції систем керування, так як вони чітко визначають необхідні функції та їх взаємодію. У стандартах наведені принципи декомпозиції та агрегування класичних функцій ІАСУ, що саме по собі вже є великим досягненням. Одна із базових концепцій стандартів – це стан-орієнтовне керування, яка є складовою усіх компонентів моделей. Вона неодноразово показала свої переваги, що повинно стати аргументом для взяття на озброєння цього підходу усіма програмістами АСКТП. На сьогоднішній день немає жодного аналогу наведеним вище стандартам, у них зібрані результати роботи передових організацій в області автоматизації та наукових досліджень.

Ми вважаємо, що популяризація та навіть розвиток цих стандартів в Україні можливий і необхідний. Українська системна інтеграція володіє сильними і перспективними кадрами, однак тривале орієнтування на східні ринки, зробили їм медвежу послугу. Ми закликаємо до спільного просунення та розвитку стандартів через професійні спільноти, через створення україномовних посібників. На кафедрі ІАСУ Національного університету харчових технологій (НУХТ) вже зроблені перші кроки в цьому напрямку. Протягом останніх 2-х років групою викладачів та магістрантів проводяться роботи по перекладу стандартів, технічних звітів та статей. Для популяризації даних стандартів створений сайт, на якому викладаються усі найважливіші матеріали [26]. НУХТ є членом асоціації промислових підприємств автоматизації України (АППАУ), яка популяризує ці стандарти по всій Україні. Окрім просвітницької діяльності, на кафедрі ІАСУ у рамках НДР розробляється програмний каркас для ПЛК, який повністю сумісний з наведеними стандартами вище. Ми пропонуємо вищим навчальним закладам та іншим членам спільноти автоматиків придатися до цього руху, що значно просуне Україну в розвитку.

### **Література**

- [1] Пупена О. М. Інтеграція систем управління / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. // Харчова і переробна промисловість. – 2005. – №1. – С. 9–11.
- [2] Manufacturing Execution Systems – MES / [J. Kletti, B. Berres, O. Brauckmann та ін.]. – New York: Springer Berlin Heidelberg, 2007. – 276 с.
- [3] Meyer H. Manufacturing Execution Systems. Optimal Design, Planning, and Deployment / H. Meyer, F. Fuchs, K. Thiel., 2009. – 248 с.
- [4] Ицкович Э. Л. . Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей: Построение MES Контроль и учет работы производства Сведение материального баланса Календарное



- планирование Оперативное управление Обслуживание и ремонт оборудования Авто / Э. Л. Ицкович. – Москва: КРАСАНД, 2013. – 232с.
- [5] MESA International [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [www.mesa.org](http://www.mesa.org).
- [6] International Society of Automation [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [www.isa.org](http://www.isa.org).
- [7] Підбір статей по інтеграції від асоціації промислових підприємств автоматизації України (АПШАУ) [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [www.appau.org.ua/search?text=ISA+95](http://www.appau.org.ua/search?text=ISA+95).
- [8] Enterprise/Control System Integration. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA -95.00.01-2010. - [Чинний від 2010–01–01]. – USA: International Society of Automation.
- [9] Enterprise/Control System Integration. Part 2: Object Model Attributes: ANSI/ISA -95.00.02-2010. - [Чинний від 2010–01–01]. – USA: International Society of Automation.
- [10] Enterprise/Control System Integration. Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management: ANSI/ISA-95.00.03-2013. - [Чинний від 2013–01–01]. – USA: International Society of Automation.
- [11] Интеграция систем управления предприятием. Часть 1: Модели и терминология: ГОСТ Р МЭК 62264-1 2010. - [Чинний від 2010–01–01]. – Москва: Межгосударственным советом по стандартизации, 2010
- [12] Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. - [Чинний від 2010–01–01]. – USA: International Society of Automation.
- [13] Batch Control. Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages: ANSI/ISA-88.00.01-2001. - [Чинний від 2001–01–01]. – USA: International Society of Automation.
- [14] Batch Control. Part 3: General and Site Recipe Models and Representation: ANSI/ISA-88.00.03-2003. - [Чинний від 2003–01–01]. – USA: International Society of Automation.
- [15] Batch Control. Part 4: Batch Production Records: ANSI/ISA-88.00.04-2006. - [Чинний від 2006–01–01]. – USA: International Society of Automation.
- [16] Batch Control. Technical report: Machine and Unit States: An Implementation Example of ISA-88: ISA-TR88.00.02 - 2006. - [Чинний від 2006–01–01]. – USA: International Society of Automation.
- [17] Batch Control. Technical report: Batch Control and Enterprise-Control System Integration, Using ISA-88 and ISA-95 Together: ISA TR 88/95.00.01-2010. - [Чинний від 2010–01–01]. – USA: International Society of Automation.
- [18] Batch Control. Part 1: Models and Terminology: IEC 61512-1:1997. - [Чинний від 1997–01–01]. – International electrotechnical commission.
- [19] Козлецов А. П. Применение стандарта ISA 95 для интеграции информационных систем на производственном предприятии / А. П. Козлецов, И. С. Решетников. // Автоматизация в промышленности.
- [20] Batch Control Using the ANSI/ISA-88 Standard. // BR&L Consulting. – 2007.
- [21] Dwiggins R. ISA-88 Batch Control: Standard Summary & Update ISA Tarheel Capital / Randy Dwiggins. – 2010.
- [22] Williams T. ISA-106 and Automated Procedures / Tom Williams. // Honeywell Users Group Americas. – 2012.
- [23] ISA-106: Using Procedural Automation to Improve Operational Efficiency. // 2013 ISA Water / Wastewater and Automatic Controls Symposium. – 2013.
- [24] Automation systems and integration. Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management. Part 2: Definitions and descriptions: ISO 22400-2:2014. - [Чинний від 2014–01–01]. – International Organization for Standardization.
- [25] Емерсон Д. ISA-106 і важливість автоматизації ручних процедур [Електронний ресурс] / Дейв Емерсон – Режим доступа до ресурсу: <https://sites.google.com/site/isa88inua/isa-106/isa-106-i-vazlivist-avtomatizacii-e-rucnih-procedur>.
- [26] ISA-88/95/106 в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://sites.google.com/site/isa88inua/home>.

## References

- [1] Pupena O. M. Intehratsiia system upravlinnia / O. M. Pupena, I. V. Elperin. // Kharchova I pererobna promyslovisht. – 2005. – №1. – S. 9–11.
- [2] Manufacturing Execution Systems – MES / [J. Kletti, B. Berres, O. Brauckmann ta in.]. – New York: Springer Berlin Heidelberg, 2007. – 276 s.
- [3] Meyer H. Manufacturing Execution Systems. Optimal Design, Planning, and Deployment / H. Meyer, F. Fuchs, K. Thiel., 2009. – 248 s.
- [4] Ytskovych Э. Л. . Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей: Построение MES Контроль учета работы производства Сведение материального баланса Календарное планирование Оперативное управление Обслуживание и ремонт оборудования Авто / Э. Л. Ytskovych. – Москва: КРАСАНД, 2013. – 232с.
- [5] MESA International [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: [www.mesa.org](http://www.mesa.org).
- [6] International Society of Automation [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: [www.isa.org](http://www.isa.org).
- [7] Pidbir statei po intehratsii vid asotsiatsii promyslovykh pidpriemstv avtomatyzatsii Ukrainy (APPAU) [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: [www.appau.org.ua/search?text=ISA+95](http://www.appau.org.ua/search?text=ISA+95).



- [8] Enterprise/Control System Integration. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA -95.00.01-2010. - [Chynnyi vid 2010-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [9] Enterprise/Control System Integration. Part 2: Object Model Attributes: ANSI/ISA -95.00.02-2010. - [Chynnyi vid 2010-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [10] Enterprise/Control System Integration. Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management: ANSI/ISA-95.00.03-2013. - [Chynnyi vid 2013-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [11] Yntehratsyia system upravlenyia predpriatyem. Chast1: Modely y termynolohyia: HOST R МЭК 62264-1 2010. - [Chynnyi vid 2010-01-01]. – Moskva: Mezhhosudarstvennym sovetom po standartyzatsyy, 2010
- [12] Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. - [Chynnyi vid 2010-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [13] Batch Control. Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages: ANSI/ISA-88.00.01-2001. - [Chynnyi vid 2001-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [14] Batch Control. Part 3: General and Site Recipe Models and Representation: ANSI/ISA-88.00.03-2003. - [Chynnyi vid 2003-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [15] Batch Control. Part 4: Batch Production Records: ANSI/ISA-88.00.04-2006. - [Chynnyi vid 2006-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [16] Yntehratsyia system upravlenyia predpriatyem. Chast1: Modely y termynolohyia: HOST R МЭК 62264-1 2010. - [Chynnyi vid 2010-01-01]. – Moskva: Mezhhosudarstvennym sovetom po standartyzatsyy, 2010
- [17] Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. - [Chynnyi vid 2010-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [18] Batch Control. Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages: ANSI/ISA-88.00.01-2001. - [Chynnyi vid 2001-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [19] Batch Control. Part 3: General and Site Recipe Models and Representation: ANSI/ISA-88.00.03-2003. - [Chynnyi vid 2003-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [20] Batch Control. Part 4: Batch Production Records: ANSI/ISA-88.00.04-2006. - [Chynnyi vid 2006-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [21] Batch Control. Technical report: Machine and Unit States: An Implementation Example of ISA-88: ISA-TR88.00.02 - 2006. - [Chynnyi vid 2006-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [22] Batch Control. Technical report: Batch Control and Enterprise-Control System Integration, Using ISA-88 and ISA-95 Together: ISA TR 88/95.00.01-2010. - [Chynnyi vid 2010-01-01]. – USA: International Society of Automation.
- [23] Batch Control. Part 1: Models and Terminology: IEC 61512-1:1997. - [Chynnyi vid 1997-01-01]. – International electrotechnical commission.
- [24] Kozletsov A. P. Prymenenye standarty ISA 95 dlia yntehratsyy ynformatsyonnykh system na proyzvodstvennom predpriatyty / A. P. Kozletsov, Y. S. Reshetnykov. // Avtomatyzatsyia v promyshlennosty.
- [25] Batch Control Using the ANSI/ISA-88 Standard. // BR&L Consulting. – 2007.
- [26] Dwiggin R. ISA-88 Batch Control: Standard Summary & Update ISA Tarheel Capital / Randy Dwiggin. – 2010.
- [27] Williams T. ISA-106 and Automated Procedures / Tom Williams. // Honeywell Users Group Americas. – 2012.
- [28] ISA-106: Using Procedural Automation to Improve Operational Efficiency. // 2013 ISA Water / Wastewater and Automatic Controls Symposium. – 2013.
- [29] Automation systems and integration. Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management. Part 2: Definitions and descriptions: ISO 22400-2:2014. - [Chynnyi vid 2014-01-01]. – International Organization for Standardization.
- [30] Emerson D. ISA-106 I vazhlyvist avtomatyzatsii ruchnykh protsedur [Elektronnyi resurs] / Deiv Emerson – Rezhym dostupu do resursu: <https://sites.google.com/site/isa88inua/isa-106/isa-106-i-vazhlyvist-avtomatizatsiie-rucnih-procedur>.
- [31] ISA-88/95/106 v Ukraini [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://sites.google.com/site/isa88inua/home>.