

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБНИЦТВ

КУРС ЛЕКЦІЙ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньою програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-
енергетичних систем»
спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Укладачі: О.М. Пупена, О.М. Клименко

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2024

Укладачі: *Пупена Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доц.
Клименко Олег Миколайович, канд. техн. наук, доц.*

Рецензент *Міркевич Р.М., к.т.н., доцент кафедри Автоматизації
та комп'ютерних технологій систем управління НУХТ*

Відповідальний
редактор *Новіков П.В., к.т.н., доцент*

*Гриф надано Методичною радою КПП ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 8 від 20.06.2024 р.)
за поданням вченої ради факультету/навчально-наукового інституту
(протокол № 12 від 10.06.2024 р.)*

П88

Автоматизація промислових виробництв. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спец. 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / КПП ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. М. Пупена, О. М. Клименко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 173 с.

Навчальний посібник призначений для студентів, які навчаються за освітньою програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та вивчають курс «Автоматизація промислових виробництв».

Метою навчального посібника є засвоєння здобувачами принципів побудови інтегрованих автоматизованих систем керування виробництвом, вивчення та опрацювання стандартів ISA-95/IEC-62264 та сучасних підходів побудови MES/MOM-систем.

УДК 004.415 (075.8)

Реєстр. № НП **XX/XX-XXX**. Обсяг 7,9 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056

<https://kpi.ua>

Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

Зміст

Вступ	5
1. Функції та загальні принципи побудови ІАСК виробництвом	7
1.1. Підприємства в мережах створення вартості	7
1.2. Розгляд виробничої екосистеми через життєві цикли	9
1.3. Інформаційні системи	17
1.4. Необхідність інтегрування систем керування	28
1.5. Проблеми інтегрування та необхідність стандартизації	31
1.6. Про стандарти інтегрування IEC-62264/ISA-95	35
1.7. Ієрархія керування промисловим виробництвом	37
Контрольні питання	38
2. Стандарти інтегрування. Основні моделі	39
2.1. Стандарти інтегрування систем керування підприємством	39
2.2. Функціональна модель	43
2.3. Обмін інформацією між рівнями L3 та L4	45
2.4. Моделі ресурсів	48
2.5. Представлення моделей ресурсів в стандартах	56
Контрольні питання	61
3. Функціональна та технічна структура MOM	63
3.1. Функціональна структура MOM	63
3.2. Технічна структура MOM	64
3.3. Використання OPC для підключення даних	66
Контрольні питання	91
4. Модель керування операціями основного виробництва	93
4.1. Модель діяльності керування операціями основного виробництва	93
4.2. Керування означенням продукту	95
4.3. Керування ресурсами	99
4.4. Детальне календарне планування	103
4.5. Диспетчерування основного виробництва	105
4.6. Керування виконанням основного виробництва	106
4.7. Збір та накопичення даних основного виробництва	108
4.8. Аналіз ефективності основного виробництва	109
4.9. Стеження за основним виробництвом	109
Контрольні питання	110
5. Означення устаткування	112
5.1. Ієрархія устаткування	112
5.2. Типи робочих центрів	114
5.3. Приклад моделі устаткування	118

Контрольні питання	122
6. Означення продукту	123
6.1. Зв'язок означення продукту з іншими діяльностями.....	123
6.2. Функції керування означенням продукту.....	123
6.3. Сегмент продукту	124
6.4. Приклад означення сегменту продукту у MOM	127
Контрольні питання	129
7. Детальне календарне планування.....	130
7.1. Рівні планування та їх співвідношення.....	130
7.2. Виробничі замовлення.....	131
7.3. Робочі замовлення, завдання та календарний план робіт	133
7.4. Приклад календарного плану виконання робіт в системі MOM.....	135
7.5. Зв'язок означення детального календарного планування з іншими діяльностями.....	137
7.6. Приклад календарного планування в системі MOM	139
7.7. Взаємозв'язок календарних планів	141
7.8. Врахування зв'язків устаткування при плануванні.....	143
Контрольні питання	144
8. Збір даних, диспетчерування та керування виконанням.....	145
8.1. Диспетчерування.....	145
8.2. Зв'язок диспетчерування з іншими діяльностями.....	146
8.3. Керування виконанням.....	148
8.4. Збір даних	150
8.5. Приклад реалізації збору даних в MOM.....	152
Контрольні питання	154
9. Аналіз ефективності.....	155
9.1. Діяльності аналізу ефективності в системі MOM.....	155
9.2. Ключові показники ефективності.....	157
9.3. Приклад ОЕЕ у системі MOM	163
9.4. Простежуваність	169
Контрольні питання	171
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	172

Вступ

Ефективна робота виробничого підприємства можлива тільки за умов узгодженої роботи усіх задіяних бізнес- та виробничих процесів. Сьогодні необхідність швидкої адаптації під мінливі умови ринку, попит та номенклатуру продукції, потреба у простежуваності та в зменшенні собівартості потребують не тільки повної автоматизації процесів на кожному з рівнів керування, а й їх узгодження. На багатьох українських підприємствах, де процеси на організаційно-економічному рівні та на рівні керування виробництвом вже є автоматизованими, координація між службами проводиться за усними або письмовими розпорядженнями, дані передаються у вигляді документів. У багатьох випадках обмін інформації між рівнями реалізований, але це організовано індивідуально для кожного об'єкта, що є дуже трудомістким завданням. Така типова ситуація виглядає дивно, враховуючи що вже з 2000-го року існує стандарт, що означає правила інтегрування систем керування підприємством та виробництвом.

У той же час мало на яких підприємствах реалізовані системи керування виробничими операціями, або вони реалізовані тільки частково, або їх функції частково реалізовані в системах керування інших рівнів. Навіть при повній реалізації всіх функцій керування виробництвом, маючи на одному підприємстві «зоопарк» рішень від різних постачальників інформаційних систем (MES, EAM, LIMS, ERP), замовник не отримує цілісну систему керування. Стандарти ISA-95/IEC-62264 означає єдині правила такої взаємодії, тому в інтересах усіх гравців ринку – постачальників програмних засобів систем керування, інтеграторів і звичайно ж замовників – щоб він використовувався в якості спільного знаменника єдиної інформаційної системи підприємства. До появи стандарту рішення з інтеграції систем керування бізнес-процесами та систем керування виробничими операціями були індивідуальними для кожного виробництва, з власною термінологією, підходами та реалізацією. Крім того, що такі рішення були досить дорогими, виникала складність розширення таких систем при необхідності. Також ускладнювалась оцінка ефективності систем через відсутність спільних означень, а отже й можливості їх порівняння. Відсутність стандартної термінології, різноманітна організаційна культура та інші фактори спричиняли низький відсоток успішних проектів з інтеграції, а їх розробка тривала протягом багатьох років.

Мета дисципліни - засвоєння принципів побудови інтегрованих автоматизованих систем керування виробництвом, вивчення та опрацювання стандартів ISA-95/IEC-62264 та сучасних підходів побудови MES/MOM-систем. Предметом дисципліни є: принципи та методи побудови автоматизованих систем керування виробництвом, принципи проектування прикладного програмного забезпечення для засобів SCADA/HMI, MES для реалізації функцій керування виробництвом. Опанування дисципліни дозволить майбутнім фахівцям розробляти структуру та

елементи MES/MOM-систем, підготовлювати програмні та апаратні засоби рівня SCADA/HMI до інтегрування в MES/MOM.

Матеріал курсу побудований на представленні функцій, ресурсів та діяльностей систем MOM через призму моделей стандартів ISA-95/IEC-62264. Тим не менше в даному курсі лекцій для кращого розуміння наводяться приклади з конкретної системи MOM.

1. Функції та загальні принципи побудови ІАСК виробництвом

1.1. Підприємства в мережах створення вартості

Основний спосіб заробітку виробничого підприємства є вироблення та продаж продукції, а саме перетворення сировини в продукти шляхом використання матеріалів, енергії, обладнання, персоналу/робочої сили. Ефективне керування ресурсами та процесами що забезпечують досягнення максимізації прибутку в постійно змінному середовищі є серйозним викликом для підприємств. У наш час Індустрії 4.0/5.0 ефективне розумне підприємство [1] має мати гнучкість та постійно змінюватися. Воно повинно надавати ринку максимально якісну і спеціалізовану під замовника продукцію в найменш короткий термін. При цьому кінцева вартість продукту для споживача може мати не саме визначальне значення, більш пріоритетними стають можливість підлаштування продукту під споживача та зменшення та гарантування часу випуску з моменту замовлення. За таких обставин, підприємства можуть об'єднуватися для формування мереж вартості, де кожне з підприємств вносить свою частину доданої вартості в кінцевий продукт.

На рис.1.11 показаний приклад взаємодії кількох підприємств. Одне з них є виробничим, тобто має виробничі майданчики, інше має добре налагоджені процеси маркетингу та продажу та відділ R&D для розроблення нових продуктів. Взаємодіючи між собою, ці підприємства можуть налагодити випуск продукції та реалізувати її. Якщо ця взаємодія відбувається через ручні операції (приймання та оформлення замовлення, облік доступних ресурсів, планування і т.п.) затрачений час, точність розрахунків та прогнозування не дозволить це робити в короткі терміни та з необхідними гарантіями.

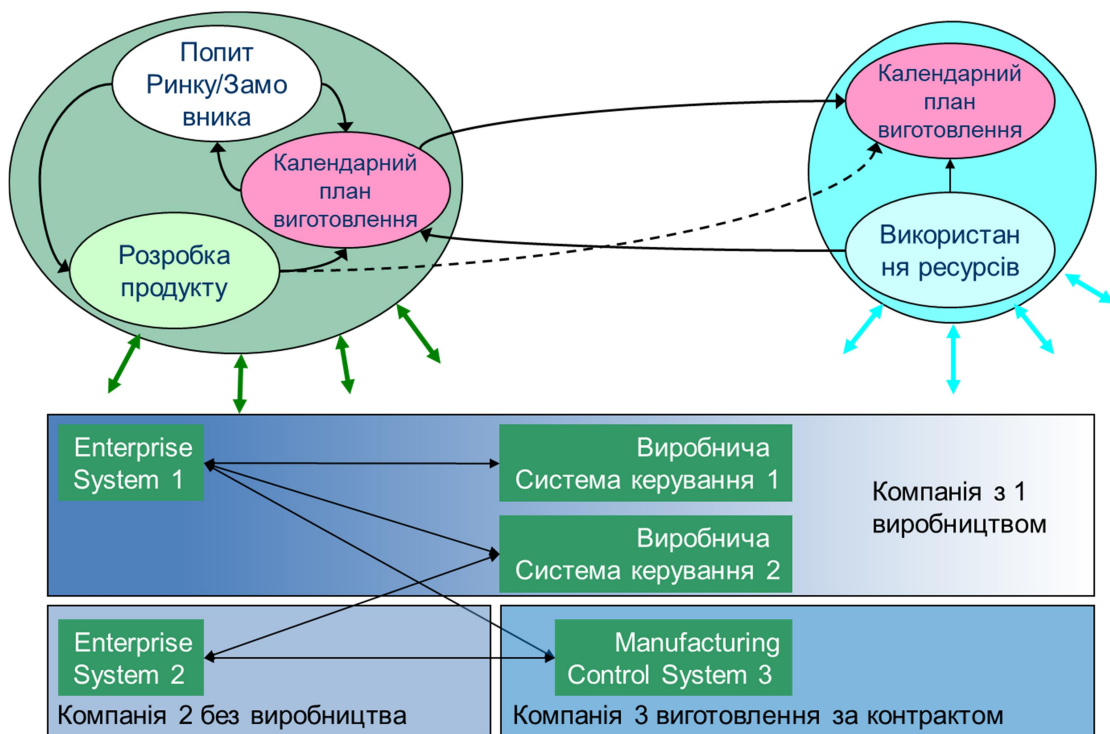


Рисунок 1.1 – Гнучке промислове виробництво (I4.0) в мережі створення вартості кількох підприємств

Наведена мережа вартості з 2-х підприємств стає ще більш складнішою, коли кількість підприємств в ній збільшується, і ланцюги повинні створюватися динамічно. З одного боку така мережа буде більш гнучкою, так як в ній з'являться альтернативні варіанти. Однак з кожним новим учасником (підприємство) ускладнюється і взаємодія. Ефективна робота в таких мережах підприємств можлива тільки за рахунок цифровізації цих підприємств та автоматизації всіх бізнес-процесів в ньому.

Таким чином, якщо до недавнього часу автоматизацію процесів керування можна було розглядати в контексті окремих підрозділів підприємств, то в сучасному світі питання цифровізації всього підприємства і узгоджена робота усіх його функцій є питанням економічного виживання. При цьому варто говорити про сумісну роботу всіх процесів, які пов'язані з підприємством, незалежно від домену та рівня керування. Так, наприклад, вихід з ладу якогось насоса, що потребує ремонту, повинно відразу проявитися в процесах планування виготовлення продукції а отже і у відповіді на запит клієнта щодо можливого виготовлення продукції та термінів. Нижче розглянемо виробничу екосистему через різноманітні життєві цикли підприємства.

1.2. Розгляд виробничої екосистеми через життєві цикли

Розглянемо типові функціональні області для виробничих підприємств в контексті життєвих циклів (ЖЦ). Для початку варто зазначити, що на виробництві задіяні процеси, які так чи інакше стосуються:

- продукції, яка виробляється
- виробничої системи, яка забезпечує таке виробництво, включаючи обладнання та персонал
- планування та постачань

Продукт

Для початку розглянемо життєвий цикл продукту, який виготовляється на виробництві (рис.1.2).

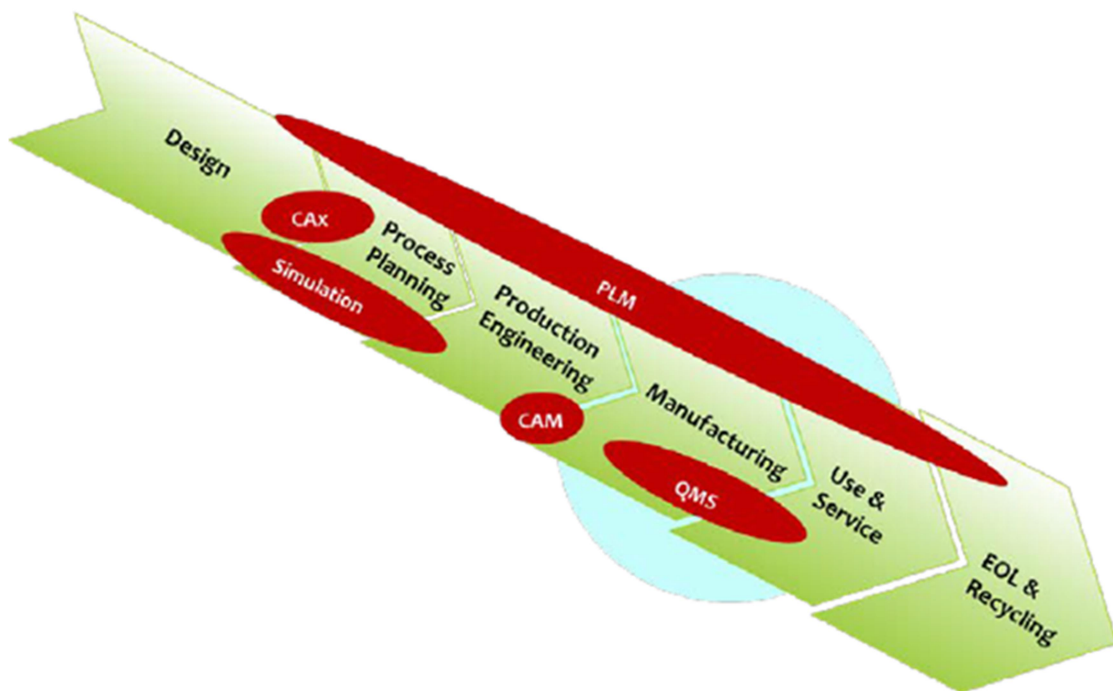


Рисунок 1.2 – Життєвий цикл продукту [1]

Життєвий цикл продукту як правило включає такі етапи:

1. Design (Проектування): На цьому етапі проектується виріб, визначається його функціональні та технічні характеристики, розроблюється дизайн та конструкція виробу.
2. Process Planning (Планування процесу): На цьому етапі розроблюється план виробництва виробу, включаючи послідовність операцій та матеріали, необхідні для виробництва виробу.

3. Production Engineering (Інженерія виробництва): На цьому етапі розроблюється технологія виробництва виробу, включаючи розробку обладнання та інструментів, необхідних для виробництва виробу.
4. Manufacturing (Виробництво): На цьому етапі виріб виготовляється виробничими процесами, розробленими на попередніх етапах, і готується до відвантаження на ринок.
5. Use & Service (Використання та обслуговування): На цьому етапі виріб використовується споживачами, та може потребувати підтримки або обслуговування протягом свого життєвого циклу, якщо цей продукт цього потребує (наприклад автомобіль, або насос).
6. End of Life (Кінець життя виробу): На цьому етапі виріб відновлюється або відходить до кінця свого життєвого циклу, наприклад, через застарілість, пошкодження або інші причини.
7. Recycling (Переробка): На цьому етапі матеріали виробу переробляються або видаляються з нього відповідно до вимог щодо охорони навколишнього середовища. Цей етап може бути важливим для зменшення відходів та забезпечення сталого використання ресурсів, оскільки він дозволяє використовувати матеріали виробу у знову виробництві нових виробів.

Така схема дозволяє керівникам підприємств та розробникам виробів визначити, на якому етапі розвитку продукту знаходиться виріб та які кроки потрібно зробити для його поліпшення, оптимізації виробництва або зменшення відходів. Врахування ЖЦ також дозволяє збільшити довговічність виробів та зменшити їх вплив на довкілля, забезпечуючи зручне та стале використання виробу протягом всього його життєвого циклу. Зважаючи на те, що ЖЦ - це універсальна схема, яка застосовується до різних типів продуктів, у тому числі до хлібобулочних виробів, можна навести приклад життєвого циклу для хлібобулочного виробу, наприклад хліба:

1. Design - розроблення рецепту хліба, визначення складу та необхідних інгредієнтів.
2. Process Planning - розроблення процесу виробництва хліба, наприклад: вибір інгредієнтів, заміс тіста, формування, випікання з описом конкретики послідовності.
3. Production Engineering - проектування виробництва та визначення необхідної техніки та обладнання для приготування хліба, наприклад тип печі, тип замішуючого пристрою і т.п.
4. Manufacturing - виробництво хліба у масових масштабах.
5. Use & Service - постачання та продаж хліба в магазинах або закладах громадського харчування.
6. End of Life (EOL) - споживачі використовують та споживають хліб.
7. Recycling - у разі залишків хлібу, відходи сортуються та переробляються, якщо можливо.

Це тільки приклад, і життєвий цикл будь-якого продукту може бути складнішим чи простішим, в залежності від типу продукту та виробничих процесів.

На рис.1.2 та на інших рисунках, що наведені нижче, блакитним кружечком виділена та частина ЖЦ, яка стосується саме виробництва. Інші частини ЖЦ виконуються за межами виробничих потужностей, і можуть виконуватися іншими організаціями. Так на рис.1.1 був показаний приклад, в якому Design (Проектування) та Process Planning (Планування процесу) виконуються на невиробничому підприємстві.

Виробнича система

У свою чергу продукт виготовляється з використанням певної виробничої системи. Виробнича система (Production System) включає всі елементи і процеси, пов'язані з виробництвом продукції. До складу виробничої системи можуть входити:

1. Обладнання: машини, інструменти, пристрої і технічні засоби, необхідні для виробництва продукту.
2. Матеріали: використовуються для створення продукту, включаючи сировину, напівфабрикати та комплектуючі.
3. Технології: методи та процедури, що використовуються для виготовлення продукту, включаючи креслення, технічні специфікації, стандарти і процедури виробництва.
4. Робоча сила: люди, які займаються виробництвом продукту, включаючи операторів, техніків, інженерів, менеджерів і т.д.
5. керування виробництвом: системи та процеси, які забезпечують ефективне функціонування виробництва, включаючи планування виробництва, керування запасами, контроль якості, керування персоналом та інші аспекти.

Виробнича система може бути складною та містити багато компонентів, але її головна мета полягає в забезпеченні виробництва продукту відповідно до стандартів якості та наданні конкурентної переваги на ринку. Виробничі системи можуть включати додаткові функціональні області, такі як контроль якості, логістика, складський облік тощо, в залежності від конкретного контексту виробництва. Отже, конкретні складові виробничої системи можуть відрізнятися залежно від сфери виробництва та типу продукції, але загальний підхід до керування виробничим процесом залишається схожим. ЖЦ виробничої системи можна показати як на рис.1.3:



Рисунок 1.3 – Життєвий цикл виробничої системи [1]

Життєвий цикл виробничої системи включає наступні етапи:

1. Design (Проектування) - цей етап передбачає розроблення концептуальної моделі виробничої системи. На цьому етапі вирішуються питання щодо того, як система повинна працювати, які ресурси необхідні, як вона повинна бути організована та які технології мають використовуватись.
2. Build (Будівництво) - на цьому етапі виробляються всі компоненти системи, від машин та обладнання до комп'ютерів та програмного забезпечення. Зазвичай цей етап включає в себе збірку та випробування окремих компонентів, перед тим як вони будуть зібрані в одну систему.
3. Commission (Введення в експлуатацію) - після того, як всі компоненти системи зібрані, настає етап пусконаладження системи. В цей час проводяться тестування, визначається оптимальна робоча конфігурація та налаштування.
4. Operation & Maintenance (Експлуатація та обслуговування) - на цьому етапі система працює в повному обсязі та виробляє продукцію. Протягом цього етапу проводяться заходи щодо забезпечення безперебійної роботи системи та здійснення технічного обслуговування.
5. Decommission & Recycling (Вивід з експлуатації та переробка) - цей етап настає після того, як виробнича система вийшла з ладу, вже не ефективна або її доводиться зняти з експлуатації з інших причин. На цьому етапі проводяться роботи щодо демонтажу, знешкодження небезпечних відходів та переробки вторинних ресурсів.

Цей життєвий цикл відображає усі етапи виробництва виробничої системи, від стадії її розроблення та збирання до пуску в роботу та зняття з експлуатації подальшої переробки. Кожен з етапів має свої особливості та завдання, які необхідно виконувати для забезпечення ефективної та безперебійної роботи виробничої системи протягом усього її життєвого циклу.

Наведемо приклад для виробництва хлібобулочних виробів, життєвий цикл виробничої системи може мати наступний вигляд:

1. Design - на цьому етапі розробляється концепт виробничої лінії, відповідно до потреб ринку та виробничих можливостей. Визначається обладнання, яке необхідно для виробництва хлібобулочних виробів, враховуючи різні типи продукції та її обсяг.
2. Build - на цьому етапі виробляються всі компоненти виробничої лінії, включаючи машини для замішування тіста, пресування, випікання та упаковки продукції.
3. Commission - після збирання компонентів лінії проводиться пусконаладження, включаючи налаштування режимів роботи, контроль якості та інші важливі параметри.
4. Operation & Maintenance - на цьому етапі виробнича лінія працює в повному обсязі, виготовляючи хлібобулочну продукцію з високою якістю. Забезпечується її безперебійна робота, а також проводиться регулярне технічне обслуговування та ремонт.
5. Decommission & Recycling - після того, як виробнича лінія втратила свою ефективність або її доводиться зняти з експлуатації з інших причин, проводяться роботи з її демонтажу та знешкодження небезпечних відходів. Можуть використовуватися різні методи переробки та утилізації матеріалів, які були задіяні у виробництві виробничої системи.

Життєвий цикл виробничої системи є важливим елементом планування та керування виробництвом, оскільки він дозволяє оцінити ефективність виробництва на різних етапах та визначити потребу в технічному обслуговуванні та модернізації. Крім того, знання життєвого циклу виробничої системи дозволяє виробникам зменшити вплив їх виробництва на довкілля та забезпечити більш ефективне використання ресурсів. У загальному, життєвий цикл виробничої системи може включати більше етапів або вони можуть бути поділені на менші частини, залежно від конкретної ситуації та потреб виробництва. Однак, загальна ідея полягає в тому, що кожна виробнича система має свій власний життєвий цикл, який необхідно ретельно планувати та контролювати, щоб забезпечити якість продукції та максимальну ефективність виробництва.

Слід звернути увагу, що як і в попередньому випадку, життєвий цикл виробничої системи тільки під час введення в дію та експлуатації стає частиною виробничого майданчика. Інші діяльності як правило проводяться іншими організаціями (проектні, монтажні, налагоджувальні, тощо)

Ланцюжок постачань

Життєвий цикл ланцюга постачань (Supply Chain) виробничого підприємства - це процес взаємодії між підприємствами та організаціями, які забезпечують матеріали та послуги для виробництва та постачання продукції на ринок, а також повернення непотрібної або пошкодженої продукції.



Рисунок 1.4 – Цикл ланцюжка постачань [1]

Життєвий цикл ланцюга постачань можна розбити на кілька етапів (рис.1.4):

1. Source (Джерело) - це пошук та вибір постачальників та партнерів для забезпечення потреб виробництва підприємства. На цьому етапі виробник встановлює контакти з постачальниками сировини та матеріалів, компонентів, обладнання та інших ресурсів, необхідних для виробництва продукції.
2. Make (Виготовлення) - це етап виробництва самої продукції, який може включати процеси виробництва, збирання, пакування та маркування. На цьому етапі виробники забезпечують якість продукції та дотримуються встановлених стандартів та вимог клієнтів.
3. Deliver (Доставка) - це етап, коли готова продукція доставляється до клієнтів та роздрібних продавців. На цьому етапі важливо забезпечити своєчасну доставку та високу якість послуг.
4. Return (Повернення) - це етап, коли клієнти повертають продукцію з різних причин: через брак якості, невідповідність вимогам, зміну потреб тощо. Важливо забезпечити ефективну обробку повернутої продукції, зокрема її утилізацію, переробку або повторне використання.
5. Plan (Планування) - Цей етап знаходиться паралельно з етапами Source та Make і полягає у плануванні операцій постачальної ланки. Планування включає в себе розподіл ресурсів, визначення пріоритетів, контроль якості та ефективності процесів, аналіз результатів і удосконалення системи. Наприклад, на етапі планування можуть вирішувати питання про

те, як підтримувати стабільний запас сировини та матеріалів для виробництва продукції, як забезпечити вчасну доставку готової продукції до клієнтів, як впровадити систему відслідковування продукції під час транспортування та інші питання, пов'язані з плануванням діяльності ланки постачання.

У цьому ЖЦЦ приймають участь різноманітні організації, яку мають різну роль:

1. Постачальники (Suppliers) - це компанії або організації, які постачають сировинні матеріали, комплектуючі, обладнання та інші ресурси для виробництва продукції. У життєвому циклі підприємства постачальники грають важливу роль у забезпеченні стабільного та ефективного виробництва продукції.
2. Конкуренти (Competitors) - це інші компанії, що діють у тому ж сегменті ринку, що і дане підприємство. У життєвому циклі підприємства конкуренти відіграють важливу роль у формуванні стратегій розвитку та маркетингу продукції.
3. Клієнти (Customers) - це особи або компанії, які купують продукцію або послуги, які надає підприємство. У життєвому циклі підприємства клієнти є основним джерелом прибутку, тому їх потреби та вимоги повинні бути добре вивчені та задоволені.
4. Supply Channels - це канали постачання, що використовуються підприємством для забезпечення своїх потреб у сировині, комплектуючих та інших ресурсах. У життєвому циклі підприємства канали постачання відіграють важливу роль у забезпеченні потрібною сировиною та комплектуючими вчасно та з оптимальними цінами.
5. Дистриб'ютори (Distributors) - це компанії, які займаються реалізацією продукції підприємства на ринку. У життєвому циклі підприємства дистриб'ютори відіграють важливу роль у забезпеченні доступності та зручності купівлі продукції для кінцевих споживачів, а також у збільшенні обсягів продажу та прибутку підприємства.
6. Стратегічні партнери (Strategic Partners) - це стратегічні партнери, які співпрацюють з виробничим підприємством з метою досягнення спільних цілей. Це можуть бути інші підприємства, постачальники, дистриб'ютори або інші організації, з якими виробниче підприємство укладає довгострокові договори та співпрацює на постійній основі.

В цілому, життєвий цикл ланцюжка постачання - це комплексний процес, який включає в себе взаємодію багатьох сторін і етапів. Ефективне керування кожним з етапів може забезпечити успішне функціонування постачальної ланки та позитивний результат для всіх сторін, включених у процес.

Розглянемо приклад життєвого циклу ланцюжка постачання для хлібобулочних виробів:

1. Source На цьому етапі здійснюється пошук та закупівля сировини для виробництва хлібобулочних виробів, таких як борошно, дріжджі, цукор, сіль та інші інгредієнти.

Наприклад, пекарня може закуповувати борошно від постачальників з різних країн, враховуючи якість та ціну продукту.

2. Make Цей етап включає процес виробництва хлібобулочних виробів, який включає в себе підготовку інгредієнтів, змішування, формування, випікання та упакування.
3. Deliver На цьому етапі здійснюється доставка готової продукції до клієнтів. Пекарня може мати свій власний автопарк для доставки продукції або користуватися послугами зовнішніх перевізників.
4. Return Цей етап включає в себе повернення продукції клієнтами у разі недоліків або невідповідності якості. Наприклад, якщо пекарня випекла продукт з низькою якістю або з проблемами зі смаком, клієнт може повернути продукт і отримати повернення коштів або обмін на іншу продукцію.
5. Plan На етапі планування можуть вирішуватися питання про оптимізацію процесів постачальної ланки, планування виробництва з урахуванням сезон

Як і в попередньому випадку, даний життєвий цикл виробничої системи тільки під час введення в дію та експлуатації стає частиною виробничого майданчика.

Розумна виробнича екосистема

Отже, принаймні три ЖЦ, пов'язані з виробництвом перекриваються саме на виробничому майданчику. На рис.1.5 показана розумна виробнича екосистема (Smart Manufacturing Ecosystem), яка б мала узгодити процеси цих життєвих циклів для оптимальної роботи.

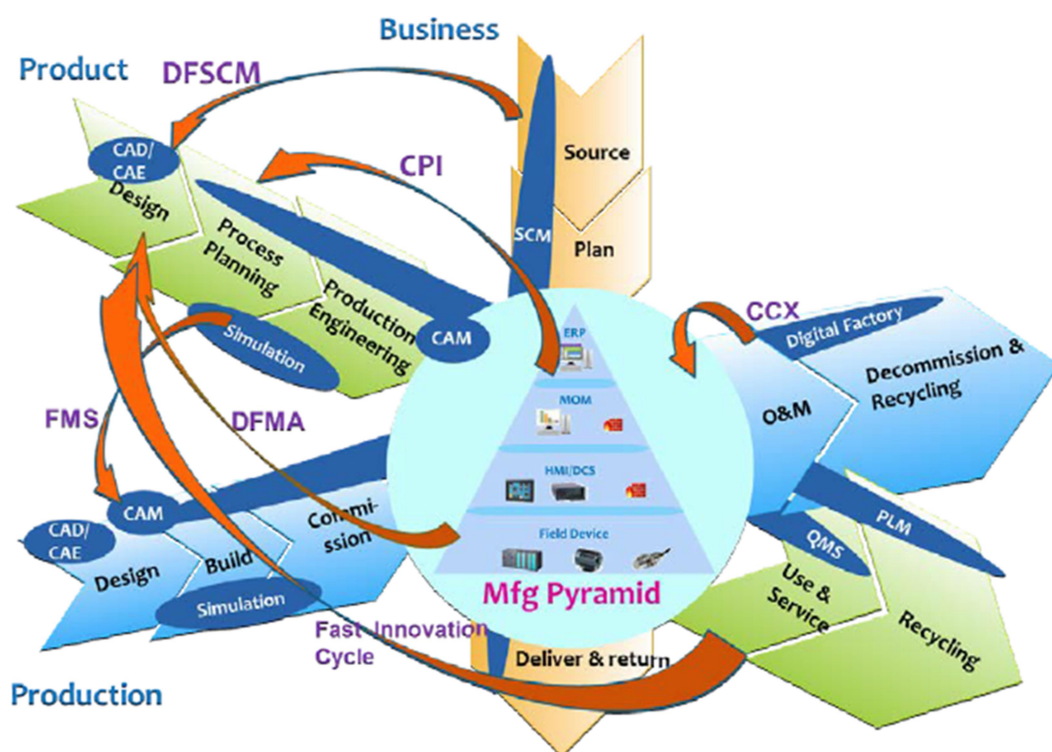


Рисунок 1.5 – Розумна виробнича екосистема [1]

Таким чином, для успішного функціонування і розвитку будь-якого підприємства, всі його системи мають функціонувати як єдине ціле, всі функції мають бути узгоджені та скоординовані. Однак традиційно, для автоматизації процесів наведених вище життєвих циклах використовуються різні інформаційні системи, тому варто трохи зупинитися на них.

1.3. Інформаційні системи

PLM

Почнемо з системи керування життєвим циклом продукту (PLM, Product Lifecycle Management) - це інформаційна система, що дозволяє керувати життєвим циклом продукту від його створення до виведення зі служби. Варто зауважити, що як видно з рис.1.2 та 1.3 виробнича система підприємства також є продуктом, але з точки зору тих інжинірингових підприємств, які розробляли цю систему. Тому той чи інший актив (система) має певну роль в залежності від позиції того, хто на неї дивиться. В системній інженерії така позиція називається стейкхолдером (stakeholder).

PLM системи дозволяють забезпечити координацію та інтеграцію різних процесів виробництва, від проектування та розробки до виробництва, маркетингу та обслуговування. PLM системи забезпечують збір, зберігання та обмін даними про продукт на різних етапах його життєвого циклу. За допомогою PLM системи, команда розробників може керувати процесом проектування, моделювання та аналізу продукту, а також виконувати його технічне затвердження, визначати комплектацію та створювати каталоги.

PLM система включає такі функції як:

1. керування конфігурацією – забезпечує зберігання та керування інформацією про компоненти продукту, їх версії та зміни.
2. керування змінами – дозволяє контролювати та відстежувати зміни, що вносяться до продукту на різних етапах його життєвого циклу.
3. керування проектами – дозволяє керувати проектами на різних етапах його життєвого циклу.
4. керування документами – забезпечує зберігання та керування документами, пов'язаними з продуктом.
5. керування виробництвом – дозволяє керувати виробництвом, включаючи планування виробництва, керування запасами, виконання замовлень тощо.
6. керування якістю – забезпечує контроль якості продукту та дотриман

Наприклад, PLM система може бути використана для керування життєвим циклом хлібобулочних виробів виробничого підприємства. Така система може забезпечувати керування всіма етапами від проектування до утилізації хлібобулочного виробу, включаючи такі етапи, як:

1. Дизайн та розробка: система PLM дозволяє планувати та керувати розробкою нових хлібобулочних виробів, включаючи визначення їх характеристик, складу та форми.
2. Виробництво: система PLM може відстежувати технологічні процеси та виробничі потужності для виробництва хлібобулочних виробів, забезпечуючи ефективність та якість виробництва.
3. керування якістю: система PLM може допомагати відстежувати якість хлібобулочних виробів, включаючи контроль якості входящих матеріалів та відстеження якості виробів на кожному етапі виробництва.
4. керування постачанням: система PLM може допомагати управляти постачанням необхідних компонентів для виробництва хлібобулочних виробів, забезпечуючи своєчасне та ефективне постачання необхідних матеріалів.
5. Утилізація: система PLM може допомагати керувати етапом утилізації хлібобулочних виробів, включаючи збір та переробку відходів, що зменшує вплив на навколишнє середовище.

Приклад системи PLM для виробничої системи пекарні може включати наступні елементи:

1. Проектування виробничих приміщень і обладнання: система PLM може включати моделі планування виробничого приміщення, які враховують оптимальні розміри, розміщення та конфігурацію обладнання, а також оптимізовані маршрути руху матеріалів та працівників.
2. керування документацією: система PLM дозволяє пекарням зберігати та оновлювати всю документацію, пов'язану з виробництвом, таку як інструкції з техніки безпеки, інструкції з обслуговування та ремонту обладнання, інструкції з якості та інші документи.
3. керування проектами: система PLM дозволяє пекарням керувати проектами, пов'язаними з розробкою нових продуктів, впровадженням нових технологій та процесів, а також оновленням обладнання.
4. керування якістю: система PLM дозволяє пекарням відстежувати якість продукту та процесів виробництва, забезпечувати відповідність стандартам та вимогам клієнтів, а також виявляти та вирішувати проблеми з якістю виробництва.
5. керування запасами: система PLM дозволяє пекарням контролювати запаси сировини та інших матеріалів, необхідних для виробництва, та оптимізувати їхнє використання.
6. керування виробничим процесом: система PLM дозволяє пекарням відстежувати виробничий процес, контролювати якість продукту та ефективність виробничих процесів, виявляти та вирішувати проблеми виробництва.

7. керування життєвим циклом обладнання: PLM може бути використаний для керування життєвим циклом обладнання, яке використовується в пекарні. Компанія може використовувати PLM для планування покупки нового обладнання, керування його життєвим циклом, підтримки та ремонту, а також забезпечення його безпечної експлуатації.
8. керування стандартами безпеки та сертифікацією: PLM може допомогти в плануванні та керуванні процесами, пов'язаними з дотриманням стандартів безпеки та сертифікацією виробів. Компанія може використовувати PLM для стеження за вимогами до безпеки та сертифікації, дотримання норм та стандартів, а також для зберігання та керування даними про документацію т

CAD/CAM/CAx

У контексті життєвого циклу продукту часто використовується термін "CAx", який означає "Computer-Aided Technologies" або "Computer-Aided Everything". Цей термін охоплює в собі всі комп'ютеризовані технології, що використовуються на різних етапах життєвого циклу продукту, включаючи проектування, розробку, виробництво, тестування та інші. Використання CAx систем дозволяє підвищити ефективність та якість проектування, розробки та виробництва продукту, знизити час та витрати на розробку та виробництво, а також забезпечити високу якість та конкурентоспроможність продукту на ринку. На наведених вище рисунках під цим терміном розуміють CAD та CAE:

- CAD (Computer-Aided Design) - системи проектування продукту;
- CAE (Computer-Aided Engineering) - системи інженерного аналізу, які дозволяють вирішувати технічні питання та оптимізувати проектування продукту;

Системи CAD (Computer-Aided Design) - це інформаційні технології, які дозволяють автоматизувати процеси проектування продукту. У контексті життєвого циклу продукту, системи CAD використовуються на етапах проектування та розробки нового продукту. Системи CAD дозволяють інженерам та дизайнерам створювати електронні моделі продукту в 2D або 3D форматі, використовуючи спеціальні програмні засоби. Ці моделі можуть бути використані для візуалізації та аналізу різних варіантів дизайну продукту, вирішення технічних питань та зменшення можливих помилок на етапі проектування. Системи CAD також дозволяють автоматизувати процес розробки документації для виробництва продукту, такої як креслення, специфікації матеріалів та компонентів, технічні вимоги до продукту та ін. Застосування систем CAD дозволяє підвищити ефективність проектування та розробки нових продуктів, скоротити час розробки та зменшити витрати на розробку та виробництво продукту. Для виробничих

підприємств використання систем CAD є ключовим для забезпечення якості та конкурентоспроможності продукту на ринку.

Системи CAM (Computer-Aided Manufacturing) - це інформаційні технології, які дозволяють автоматизувати процеси виробництва продукту. У контексті життєвого циклу продукту, системи CAM використовуються для оптимізації виробничих процесів на етапах виготовлення та експлуатації продукту. Системи CAM можуть включати в себе різноманітні інструменти для планування виробничих процесів, моделювання виробництва, побудови електронних моделей продукту (CAD/CAM), моніторингу та контролю виробничих процесів, виконання розрахунків для підвищення ефективності виробництва, керування якістю продукту тощо. Застосування систем CAM може зменшити час виробництва продукту та витрати на виробництво, забезпечити високу якість продукту та підвищити продуктивність виробництва. Для виробничих підприємств використання систем CAM є ключовим для досягнення конкурентних переваг на ринку.

Simulation

Системи імітаційного моделювання (Simulation) дозволяють моделювати фізичні процеси та явища, що відбуваються на різних етапах життєвого циклу продукту, наприклад, проектування, виробництво, експлуатація та тестування. З їх допомогою можна аналізувати різні параметри продукту, такі як міцність, стійкість, маса, геометрію та інші, що дозволяє покращити якість продукту та знизити витрати на його виробництво. Зокрема, системи Simulation використовуються для:

- проектування та розробки продукту - дозволяють проводити технічний аналіз та оцінювати властивості продукту на ранніх етапах його життєвого циклу;
- виробництва - дозволяють моделювати процеси виробництва, аналізувати потреби в ресурсах та визначати оптимальні режими виробництва;
- тестування та валідації - дозволяють проводити віртуальні тести та аналізувати поведінку продукту в різних умовах та середовищах;
- підтримки експлуатації - дозволяють моделювати різні умови експлуатації та прогнозувати технічний стан продукту на різних етапах його життєвого циклу.

Використання систем Simulation дозволяє підвищити якість та ефективність виробництва, знизити час та витрати на проектування та розробку продукту.

CRM

Системи CRM (Customer Relationship Management, системи керування взаємовідносинами з клієнтами) використовуються для автоматизації та оптимізації процесів взаємодії з клієнтами. У контексті ЖЦ продукту системи CRM можуть бути використані для таких завдань:

1. Збір та аналіз інформації про клієнтів: системи CRM дозволяють збирати та зберігати інформацію про клієнтів, їх історії замовлень, проблеми, побажання та іншу інформацію, що дозволяє компанії краще зрозуміти потреби та бажання клієнтів.
2. Підтримка взаємодії з клієнтами на всіх етапах ЖЦ продукту: системи CRM допомагають забезпечити ефективну взаємодію з клієнтами на всіх етапах ЖЦ продукту, починаючи від замовлення продукту і закінчуючи післяпродажним обслуговуванням.
3. Оптимізація процесів взаємодії з клієнтами: системи CRM допомагають автоматизувати та оптимізувати процеси взаємодії з клієнтами, що дозволяє компанії забезпечити швидку та якісну відповідь на запити клієнтів, збільшити ефективність роботи та зменшити кількість помилок.
4. Аналіз та вдосконалення процесів взаємодії з клієнтами: системи CRM надають можливість аналізувати дані про взаємодію з клієнтами, що дозволяє компанії виявляти проблемні моменти в процесах та вдосконалювати їх для забезпечення кращого відношення з клієнтами та збільшення їх задоволеності від роботи з компанією.

ERP

Системи планування ресурсів підприємства (Enterprise Resource Planning, ERP) - це комп'ютерні програми, які допомагають управляти різними аспектами діяльності підприємства, включаючи фінанси, облік, логістику, виробництво, ресурсну планування, кадровий облік, управління проектами та інші. ERP системи дозволяють організаціям автоматизувати багато процесів, які раніше виконувалися вручну, тим самим знижуючи витрати на операційну діяльність та покращуючи продуктивність. ERP системи також дозволяють отримувати більш точну та швидку інформацію про стан підприємства, що дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення. ERP системи можуть бути налаштовані під потреби конкретного підприємства. Наприклад, виробничі підприємства можуть використовувати ERP системи для керування процесом виробництва та складським обліком, тоді як роздрібні компанії можуть використовувати ERP для керування фінансами та продажами.

1. Фінансове управління: ця функція дозволяє контролювати фінансову діяльність підприємства, включаючи облік доходів та витрат, створення фінансових звітів, керування банківськими операціями, оплатою рахунків та заробітної плати.
2. Управління виробництвом: ця функція дозволяє планувати та керувати виробничими процесами підприємства, включаючи облік запасів, контроль якості, виробниче планування та керування виробничими лініями.
3. Управління логістикою: ця функція дозволяє планувати та керувати логістичними процесами підприємства, включаючи контроль запасів, планування транспорту, управління доставками та маршрутизацією.

4. Управління ресурсами людей: ця функція дозволяє керувати процесами з приводу кадрів підприємства, включаючи управління заробітною платою, розкладуванням робочого часу, підготовкою навчальних програм та контролю за відпустками.
5. Управління проектами: ця функція дозволяє керувати проектами підприємства, включаючи планування робіт, контроль за витратами та часом, оцінку ризиків та роботу з командою.
6. Управління продажами та маркетингом: ця функція дозволяє керувати процесами з приводу продажу та маркетингу підприємства, включаючи управління контактами з клієнтами, плануванням кампаній та моніторингом результатів продажу та звітністю про продажі.
7. Управління запасами: ця функція дозволяє керувати запасами матеріалів та товарів підприємства, включаючи контроль за запасами, плануванням закупівель та управлінням постачальниками.
8. Управління зв'язками з клієнтами: ця функція дозволяє керувати взаємовідносинами з клієнтами, включаючи управління контактами з клієнтами, плануванням зустрічей та збором даних про клієнтів.
9. Аналітика та звітність: ця функція дозволяє збирати, обробляти та аналізувати різноманітну інформацію

Asset Managemnet/EAM

Enterprise Asset Management (EAM) - це інформаційна система для управління активами підприємства, що забезпечує збір, аналіз та зберігання даних про всі активи компанії, такі як обладнання, машини, транспортні засоби, будівлі, інфраструктура тощо.

Основні функції EAM включають:

1. Управління життєвим циклом активів: система дозволяє планувати та виконувати профілактичний ремонт та обслуговування обладнання, моніторинг його ефективності та оцінювати витрати на його експлуатацію.
2. Управління запасами: EAM допомагає відстежувати запаси запчастин та матеріалів для обслуговування активів, що дозволяє ефективно планувати та контролювати витрати.
3. Управління документацією: система забезпечує централізоване зберігання документації про активи, включаючи сертифікати, інструкції з експлуатації, технічні специфікації тощо.
4. Управління проектами: EAM допомагає координувати проекти зі зберігання, підтримки та ремонту активів, включаючи планування, кошторисування, виконання та контроль витрат.
5. Управління ресурсами: система дозволяє відстежувати використання ресурсів, таких як робочий час, матеріали, запчастини, енергія тощо.

EAM часто інтегрується з іншими інформаційними системами, такими як ERP, PLM та CRM, щоб забезпечити цілісну систему управління підприємством.

ЕАМ-системи також можуть містити функції, пов'язані зі зберіганням інформації про замовлення та запаси матеріалів, що пов'язані з обслуговуванням обладнання. Це дозволяє здійснювати ефективне управління запасами та запобігати затримкам в обслуговуванні через нестачу матеріалів.

У підсумку, ЕАМ-системи є важливим інструментом для ефективного управління фізичними активами компанії, дозволяючи забезпечити їхню максимальну продуктивність та ефективність, зменшити витрати на їхнє обслуговування та збільшити загальну прибутковість бізнесу.

Recipe Managment System (RMS)

Recipe Management System (RMS) - це система управління рецептами, що використовується в промисловості для автоматизації процесів змішування, дозування та контролю різних інгредієнтів для створення продукту. RMS дозволяє користувачам зберігати та керувати рецептами, які включають інформацію про всі необхідні інгредієнти та їх кількість, послідовність додавання та час, необхідний для змішування. Крім того, RMS може забезпечувати контроль якості виробів за допомогою моніторингу параметрів, таких як температура, тиск та інші. RMS може використовуватися в різних виробничих галузях, таких як харчова, фармацевтична, хімічна та інші, де точність та стабільність процесу виробництва є критичними факторами для досягнення високої якості продукту та зменшення відходів. Завдяки використанню RMS, процес змішування та дозування інгредієнтів може бути автоматизованим, що дозволяє забезпечити більш високу точність та швидкість виробництва. Крім того, RMS дозволяє забезпечити повторюваність процесу виробництва, що є критичним для стандартизації якості продукту.

MES

MES (Manufacturing Execution System) - це система управління виробництвом, яка дозволяє підвищити ефективність та якість виробництва, зменшити час та зусилля, необхідні для виробництва продукту. MES забезпечує інтеграцію між різними підрозділами підприємства, такими як основне виробництво, логістика, облік та управління якістю. MES дозволяє контролювати процеси виробництва, збір та аналіз даних з різних джерел, таких як обладнання, системи автоматизації, датчики, ручний ввід даних, інформацію про замовлення, запаси та інше. Основні функції MES включають в себе:

- Планування та контроль виробництва: система дозволяє планувати виробничі процеси, контролювати виконання планів та реагувати на зміни у режимі роботи;
- Моніторинг та контроль якості: MES дозволяє контролювати якість продукції та виявляти несправності, що дозволяє забезпечити виробництво високоякісної продукції;

- Управління ресурсами: система дозволяє контролювати використання матеріалів, енергії, праці та інших ресурсів, що дозволяє зменшити витрати та підвищити ефективність виробництва;
- Забезпечення безпеки: MES дозволяє контролювати відповідність вимогам безпеки праці та виробничої безпеки;
- Інформаційне забезпечення: система забезпечує доступ до інформації про стан виробництва, процесів та продукту для прийняття керівництвом виробничих рішень та планування майбутнього виробництва. Крім того, MES дозволяє автоматизувати більшість процесів виробництва, що дозволяє знизити кількість ручної роботи та зменшити ризики виникнення помилок.

Для імплементації MES на підприємстві потрібно провести аналіз процесів виробництва, вибрати відповідну систему, налаштувати її на конкретні потреби підприємства та навчити персонал користуватися системою. При успішній імплементації MES може допомогти підприємству підвищити ефективність виробництва, знизити витрати та покращити якість продукції.

WMS

Системи управління складом (WMS - Warehouse Management System) - це інформаційні системи, які допомагають управляти всіма операціями, пов'язаними зі складом. Такі системи зазвичай мають різноманітні функції, які дозволяють контролювати весь життєвий цикл товарів від моменту їх прибуття на склад до моменту відправлення замовникам.

Деякі з основних функцій WMS включають:

1. Прийомка товарів - система WMS дозволяє контролювати прийом товарів на склад. Це включає в себе сканування штрих-кодів, перевірку кількості і якості товарів, а також призначення місця для зберігання товарів.
2. Керування запасами - WMS дозволяє контролювати кількість та місце зберігання товарів на складі. Це допомагає забезпечити оптимальний рівень запасів, уникнути зайвих витрат на зберігання та забезпечити достатню кількість товарів для виконання замовлень.
3. Керування переміщенням товарів - система WMS дозволяє контролювати переміщення товарів на складі. Це включає в себе переміщення товарів з одного місця на інше, а також переміщення товарів між різними складами.
4. Керування замовленнями - WMS дозволяє контролювати виконання замовлень на складі. Це включає в себе підготовку замовлень для відвантаження, підготовку документів для відправлення замовлень, а також відправлення замовлень до замовників.

5. Моніторинг стану запасів - система WMS дозволяє контролювати стан запасів на складі в реальному часі. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни попиту на товари та забезпечити достатню кількість товарів для задоволення потреб замовників.
6. Оптимізація простору на складі - WMS дозволяє ефективно використовувати простір на складі. Це включає в себе розташування товарів у відповідних місцях на складі для забезпечення максимальної використання простору та ефективного переміщення товарів.
7. Відстеження товарів - система WMS дозволяє відстежувати товари на складі в реальному часі. Це допомагає уникнути помилок відправки товарів неправильному замовнику, покращує точність і швидкість виконання замовлень та дозволяє вчасно виявляти втрати та крадіжки товарів.
8. Аналіз даних - WMS забезпечує збір та аналіз даних про рух товарів на складі. Це дозволяє знаходити шляхи оптимізації процесів складської діяльності та покращення ефективності.
9. Інтеграція з іншими системами - WMS може бути інтегрована з іншими інформаційними системами, такими як ERP та SCM, що дозволяє забезпечувати єдину точку керування всією ланкою постачання від постачальника до замовника.

Загалом, система WMS дозволяє ефективно керувати складською діяльністю та забезпечувати високий рівень обслуговування замовників.

LIMS

LIMS (лабораторна інформаційна система) - це програмний комплекс, який призначений для автоматизації процесів управління лабораторними дослідженнями та дослідницькими процесами в лабораторіях різних галузей, таких як хімія, біологія, фармація та інші. LIMS складається зі спеціального програмного забезпечення, бази даних та апаратного забезпечення, яке використовується для зберігання, обробки та аналізу даних. Ця система може забезпечувати повний цикл дослідницьких процесів - від збору зразків до звітності про результати.

Основні функції системи LIMS включають:

1. Керування зразками: система може допомогти управляти збором, зберіганням та ідентифікацією зразків. Вона може також відстежувати різні параметри зразків, такі як час збору, температура та інші.
2. Управління дослідженнями: система дозволяє контролювати всі етапи досліджень - від планування до завершення. Вона може відстежувати кількість зразків, які були взяті для досліджень, та розподіляти їх на різні дослідження.
3. Аналіз даних: система може допомогти обробляти та аналізувати дані, отримані під час досліджень. Вона може створювати графіки, таблиці та інші види звітності.

4. Керування якістю: система може допомогти забезпечити якість лабораторних досліджень шляхом використання стандартів та процедур, які забезпечують точність та надійність результатів.
5. Управління замовленнями: система може допомогти управляти замовленнями та виконанням робіт за замовленнями. Вона може стежити за термінами виконання робіт, кількістю зразків, що були взяті для досліджень, та іншими параметрами. Крім того, система може виконувати автоматичні повідомлення замовникам про статус їх замовлень.
6. Управління електронними документами: система може допомогти керувати електронними документами, що стосуються лабораторних досліджень, такі як лабораторні протоколи, сертифікати якості, технічні завдання та інші. Це дозволяє зберігати всю необхідну документацію в електронному вигляді та забезпечує зручний та швидкий доступ до неї.
7. Інтеграція з іншими системами: система LIMS може бути інтегрована з іншими системами управління, такими як системи управління виробництвом, системи управління запасами та інші. Це дозволяє автоматизувати всі процеси, що стосуються лабораторних досліджень, та забезпечити їх ефективне управління.
8. Безпека даних: система LIMS забезпечує безпеку даних та забезпечує конфіденційність інформації про зразки та дослідження. Вона забезпечує контроль доступу до даних та може виконувати автоматичне резервне копіювання та відновлення даних.

В цілому, система LIMS допомагає забезпечити ефективність та точність лабораторних досліджень, сприяє автоматизації бізнес-процесів та дозволяє зменшити час та зусилля, необхідні для виконання дослідних робіт. Крім того, система LIMS дозволяє зберігати інформацію про всі зразки та дослідження в електронному вигляді, що дозволяє швидко знайти необхідну інформацію та уникнути помилок, пов'язаних з ручним введенням даних. Застосування систем LIMS особливо актуальне в лабораторіях, де виконуються багато досліджень та зразків, а також де вимоги до точності та надійності досліджень є дуже високими.

QMS

Системи QMS (Quality Management Systems, системи керування якістю) використовуються в життєвому циклі продукту з метою забезпечення високої якості продукту та задоволення потреб замовників. Загалом, системи QMS охоплюють такі процеси як планування якості, контроль якості, впровадження та керування якістю. У контексті ЖЦ продукту системи QMS можуть бути використані для таких завдань:

- Планування та контроль якості в різних етапах ЖЦ продукту, від розробки до випуску та післяпродажного обслуговування.

- Визначення та документування вимог замовника щодо якості продукту та контроль виконання цих вимог.
- Контроль виробництва продукту та відстеження дотримання встановлених стандартів якості.
- Проведення аудитів та оцінка ефективності системи керування якістю.

Використання систем QMS допомагає забезпечити високу якість продукту, зменшити кількість відхилень та ризиків, підвищити ефективність та рентабельність виробництва, а також підвищити задоволення клієнтів та зберегти репутацію компанії.

Historian

Historian (історіан) - це програмне забезпечення, яке використовується для збору, зберігання та аналізу даних процесів виробництва в режимі реального часу. Ця система забезпечує збір даних з різних джерел, таких як датчики, контролери та інші прилади, та зберігає їх в базі даних, де вони можуть бути аналізовані для розуміння та оптимізації процесів виробництва. Основні функції Historian включають:

1. Збір та зберігання даних в режимі реального часу: Historian забезпечує постійний збір даних процесів виробництва та зберігання їх у базі даних в режимі реального часу.
2. Аналіз даних: Historian може аналізувати дані процесів виробництва, що дозволяє виявляти та усувати проблеми виробництва, а також забезпечує підтримку процесу прийняття рішень.
3. Візуалізація даних: Historian може відображати дані процесів виробництва у вигляді графіків та діаграм, що дозволяє користувачам бачити та аналізувати дані у зручний спосіб.
4. Архівування даних: Historian забезпечує архівування даних процесів виробництва, що дозволяє зберігати їх на довгі періоди часу та відновлювати доступ до них у майбутньому.
5. Інтеграція з іншими системами: Historian може інтегруватися з іншими системами автоматизації виробництва, такими як SCADA, MES, ERP тощо, що забезпечує повний контроль над процесами виробництва.
6. Безпека даних: Historian забезпечує захист даних від несанкціонованого доступу та використання за допомогою різноманітних механізмів, таких як аутентифікація, авторизація та шифрування.

Таким чином, Historian є важливою складовою систем автоматизації виробництва, що дозволяє збирати та аналізувати дані процесів виробництва для підвищення ефективності та якості виробництва.

SCADA/HMI, PLC/PAC

SCADA/HMI та PLC/PAC є системами автоматизації виробництва, які використовуються для керування технологічними процесами та машинами.

SCADA/HMI (Supervisory Control and Data Acquisition/Human Machine Interface) - це система, що забезпечує збір та відображення даних процесів виробництва, а також керування ними за допомогою інтерфейсу, що дозволяє операторам взаємодіяти з системою. SCADA/HMI дозволяє зібрати дані з датчиків та інших пристроїв, обробити їх та відобразити на екрані монітора. Оператор може відстежувати та контролювати різні параметри процесів виробництва, такі як температура, тиск, рівень рідини, швидкість руху конвеєра та інші.

PLC/PAC (Programmable Logic Controller/Programmable Automation Controller) - це електронна система керування, яка забезпечує автоматизацію виробничих процесів. PLC/PAC забезпечує зчитування даних з датчиків та інших пристроїв, а також виконання різних керуючих дій на основі програмного забезпечення. Це дозволяє виробництву працювати у відповідності з певними стандартами та протоколами, а також оптимізувати витрати на енергію та матеріали.

1.4. Необхідність інтегрування систем керування

Ряд досліджень, які проводилися у світі показали основні бізнес драйвери, які спонукають до сумісної роботи інформаційних систем, які автоматизують процеси в контексті різних ЖЦ на різних рівнях керування [2]. Інтегрування систем приводить створення єдиної інтегрованої системи керування ІАСК виробничим підприємством, яка передбачає виконання функцій через взаємодію між кількома інформаційними системами в їх складі.

Ключові бізнес-драйвери – це найважливіші для успіху організації показники ефективності, що посиляються на основні вимоги на рівні організації, які впливають із коротко- та довгострокового стратегічного планування. Вони включають клієнто-орієнтовані вимоги до якості та операційні вимоги, такі як продуктивність, час циклу, швидкість та вартість впровадження нової технології, стратегічні альянси з іншими організаціями, розвиток взаємовідношень з постачальниками, а також дослідження та розробки. Простіше кажучи, ключовими бізнес-драйверами є ті речі, які організація повинна робити добре, щоб досягти своєї стратегічної мети.

У додатку С до стандарту ІЕС 62264 (та ІSA-95), про який буде описано нижче, наведені ключові бізнес-драйвери, які можуть бути покращені за рахунок інтегрування інформаційних систем різного рівня керування [3]. Бізнес-драйвери на рівні засобів виробництва формують потребу в інформаційному обміні між адміністративними підрозділами та технологічними або виробничими ділянками. Підприємства зосереджуються на цих бізнес-драйверах для задоволення

конкурентних ринкових вимог, далі вони впливають на формування інформації, що надсилається на виробничий рівень, та навпаки – вони залежать від інформації, отриманої з рівня виробництва.

Виробничі підприємства є, як правило, змінними об'єктами. Щоб відповідати мінливим бізнесовим та правовим середовищам бізнес-процеси підприємства постійно змінюються. Зазвичай, також відбуваються постійні зміни і у виробничих процесах, як-от поява нових технологій або збільшення продуктивності. Для виробництва можуть виділятися наступні бізнес-драйвери [3]:

Можливість швидкого прогнозування

Це можливість швидкого доступу осіб, які приймають замовлення, до інформації про запаси та потужності, а в деяких випадках навіть про постачальника. Це дає їм можливість дізнатися та взяти на себе зобов'язання встановлення достовірних дат постачання продукції ще під час спілкування з замовником по телефону. Інформація, необхідна для автоматизованої доступності прогнозування:

- поточний запас готової продукції;
- поточний план виробництва цього продукту;
- реалістичні потужності засобів виробництва необхідні для виготовлення цього продукту;
- запаси сировини або можливість придбання сировини.

Зменшення час циклу виготовлення

Час циклу означається як час, який необхідний для виготовлення продукту з моменту розміщення замовлення і залежить від швидкості реагування та часу виконання. Причина того, що підприємства зосереджуються на мінімізації загального часу циклу, як правило пов'язано зі збільшенням обігу запасів, що в свою чергу збільшує бізнесові ROA (рентабельність активів).

З метою скорочення часу циклу, бізнес визначає області, де відбуваються найбільші затримки та очікування, і намагається їх усунути. У більшості випадків час, необхідний для перепланування та реагування на зміни, значно довший, ніж час для побудови планів. Зменшення швидкості реагування можливе за рахунок врахування всіх аспектів об'ємного планування, календарного планування та виконання. Скорочення часу на планування дозволяє більш часто аналізувати прогнози та менше залежати від даних прогнозування.

Гнучкість у виробництві

Гнучке виробництво – це можливість змінювати налаштування виробничих активів для швидкого задоволення попиту на ринку. Для цього потрібна можливість змінити виробництво, використовуючи існуючі установки та устаткування.

Гнучкість у виробництві – це здатність ефективно функціонувати у виробничому середовищі безперервних і часто непередбачуваних змін та швидко реагувати на потреби ринку за допомогою кастомізованих (розроблених під вимоги користувача) продуктів. Гнучке виробництво використовує концепції швидкої зміни налаштувань за потребою.

Гнучке виробництво вимагає, щоб основне виробництво швидко реагувало на зміни в означенні продукту, а іноді навіть змінювало процеси виготовлення продукції в середині потоку.

Керування ланцюжками постачань

Метою керування ланцюжка постачань (SCM – supply chain management) є підвищення ефективності ведення бізнесу кожним учасником ланцюжка за рахунок використання останньої і якісної інформації від інших учасників, щоб якнайкраще збалансувати попит і пропозицію. Результатом є переміщення продукту з точки походження до споживання за мінімальний час та з найменшими затратами.

Керування ланцюжками постачань допомагає менеджерам робити інтеграцію роздрібних каналів із виробництвом, притягнення попиту з точок продажу або усунення буферних запасів у ланцюжку збуту. За межами підприємства SCM поширюється на постачальників та дистриб'юторів.

Керування ланцюжками постачання призводить до їх оптимізації, коли ланцюжок постачань використовується для досягнення максимальної ефективності цілого, а також для досягнення максимальної ефективності окремих частин.

Оптимізація ланцюжків постачань передбачає здійснення складних вигідних заходів для задоволення цілей бізнесу щодо скорочення операційних витрат та виробничих запасів, підвищення надійності доставки, зменшення часу реагування та обслуговування клієнта.

Якість та простежуваність

Для деяких підприємств бізнес-драйверами можуть бути якість та простежуваність. Цього можуть вимагати такі фактори, як відповідність нормативним вимогам, визначення затрат на обслуговування для покращення продукту, безпечність для клієнтів та відстеження впливу небезпечних предметів на персонал.

Якість та простежуваність вимагають, щоб інформація, яка зазвичай зберігається у виробничій системі, була доступною для інших частин підприємства. Це часто потребує інтеграції системи керування виробництвом та забезпечення якості з корпоративною системою керування якістю.

Збільшення повноваження оператора

Конкурентну перевагу може дати надання операторам більшої можливості у прийнятті рішень для виконання операцій, якщо ці рішення будуть безпосередньо вимірюватися фінансовими результатами. У цьому випадку, область операційної діяльності вимагає значного збільшення інформації, яка в минулому була доступною лише на організаційно-економічному рівні підприємства.

Повноваження – умова, згідно з якою працівники мають можливість приймати рішення та здійснювати заходи у своїх робочих сферах без попереднього погодження зверху. Це акт надання відповідних повноважень в руки людей, найближчих до вирішення цих задач.

Вдосконалене планування

Вдосконалене планування є ключовим бізнес-драйвером для компаній з дорогою вартістю запасів, трудомістким виробництвом, але зі швидкими змінами клієнтів та змінним попитом. Удосконалене планування вимагає доступу та використання інформації з усієї корпорації для переміщення результатів об'ємного планування від виробничих замовлень та наближення їх до календарних планів виробництва.

Вдосконалене планування вимагає постійного зворотного зв'язку щодо фактичного стану виробництва та споживання матеріалів, а також попиту та запасів.

Підсумок

Узгодження даних є серйозною проблемою для інтеграції систем керування підприємством та виробництвом. Системи повинні бути налаштовані таким чином, щоб забезпечити надсилання точних даних на виробництво та з виробництва. Ненавмисні помилки оператора виробництва чи офісного співробітника можуть призвести до занадто великої або навпаки малої кількості виробленої продукції, неефективного основного виробництва та неефективного керування запасами.

1.5. Проблеми інтегрування та необхідність стандартизації

Таким чином для ефективної роботи виробничого підприємства необхідно щоб всі процеси, задіяні в різних ЖЦ але в одному виробничому сегменті були синхронізовані. Але ці процеси автоматизуються різними інформаційними системами, функціонал яких нерідко перетинається. Це продемонстровано на рис.1.6. Тобто на рівні виробничого майданчику ми маємо принаймні кілька напрямків такої синхронізації, яка потребує інтеграції інформаційних систем і відповідно підсистем керування:

- між інформаційними системами різного рівня керування - вертикальна інтеграція

- між інформаційними системами одного рівня керування але в контексті виконання різних функційних сфер - горизонтальна інтеграція

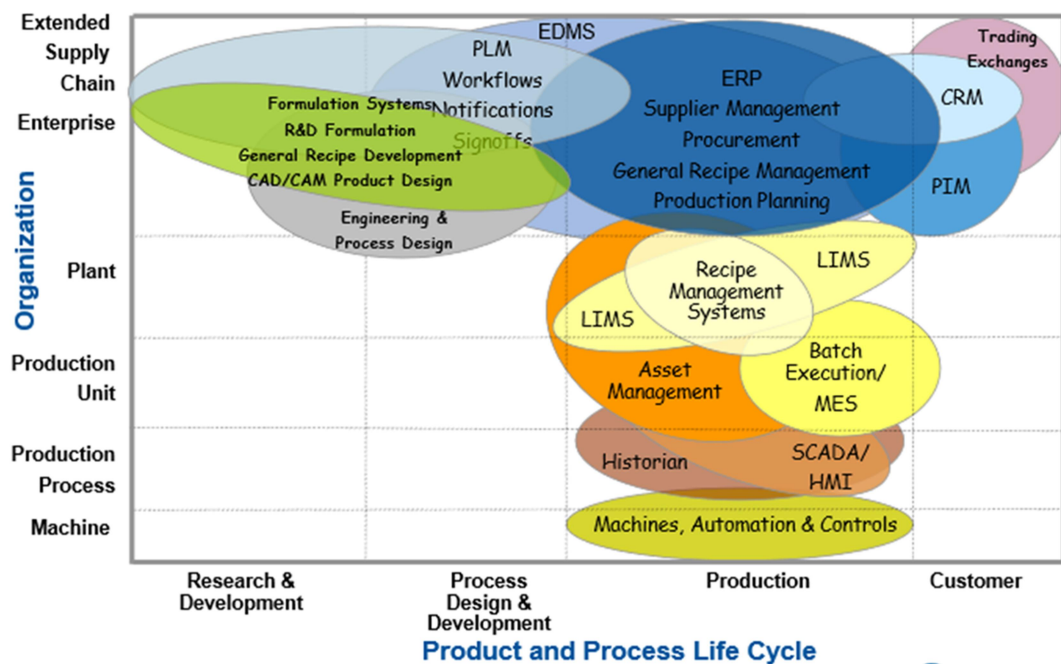


Рисунок 1.6 – Різні системи керування на підприємстві [4]

Проблема такої інтеграції має кілька причин. Інформаційні системи відповідають за різні аспекти виробництва, і відносяться до різних рівнів функціональної ієрархії, оперують різним понятійним апаратом і мають свою онтологію (представлення світу). Крім того, рівень керування бізнес-процесами та рівень керування виробництвом знаходяться в сфері відповідальності різних осіб, розробляються та розвиваються незалежно один від одного. Рівень керування бізнес-процесами, зазвичай, розробляється спеціалістами з ІТ сектора, які мало, або і взагалі нічого не розуміють в керуванні виробничими операціями. У свою чергу рівень керування виробництвом розробляється спеціалістами ОТ (операційні технології), що мислять виробничими а не бізнес-категоріями.

Незважаючи на це, всі інформаційні системи повинні бути пов'язані між собою і обмінюватись інформацією у зручній та зрозумілій формі. Ця координація та керування часто підтримується системами керування виробництвом (MES, Manufacturing Execution Systems) для керування виробничими операціями, системами керування інформацією в лабораторіях (LIMS, Laboratory Information Management Systems) для перевірки якості та керування тестовими лабораторіями, системами керування складами (WMS, Warehouse Management Systems) або системами керування резервуарними фермами для керування запасами операцій, а також керування активами або комп'ютеризовані системи керування техобслуговуванням (CMMS, Computerized Maintenance Management Systems) для операцій технічного обслуговування. Ці

системи разом називаються системами керування виробничими операціями (MOM, Manufacturing Operations Management). MOM означає різноманітний набір функцій, які працюють над системами автоматизованого керування, розташовані нижче рівня корпоративних бізнес-систем і є локальними для виробничого майданчику чи цеху.

Обмін інформацією про матеріали

Для виробництва потрібні матеріали. Не дивно, що виробничі системи мають вимогу ідентифікувати та відстежувати матеріали, оскільки основна мета виробництва полягає в перетворенні матеріалів однієї форми в матеріали іншої форми. Важливою частиною інтеграції MOM є підтримка та обмін ідентифікацією матеріалу та інформацією про нього, зокрема.

1. MES ідентифікує матеріали та їх придатність до використання, системи керування партіями підтверджують, що використовуються правильні матеріали, як зазначено в рецептах,
2. Системи відстеження та простежування (сканери штрих-кодів та зчитувачі RFID),
3. LIMS підтверджує, що перевірено правильні матеріали та використано правильні матеріали під час тестування,
4. WMS визначає матеріали в місцях їх зберігання.

Спільну інформацію про матеріали можна розділити на три основні категорії:

- інформація про клас матеріалу ідентифікує матеріали без урахування джерела матеріалу,
- інформація про означення матеріалу означає матеріал від конкретних постачальників або джерел,
- інформація про партію матеріалу означає фактичний матеріал, його місцезнаходження та кількість.

Обмін інформацією про устаткування (обладнання)

Одним із важливих елементів керованої інформації є правильна ідентифікація про стан устаткування, яке використовується для виробництва. Ідентифікація стану устаткування використовується для:

- планування,
- відстеження та простежування,
- обслуговування,
- вирішення проблем з обладнанням,
- візуалізації стану (HMI),
- відстеження потужності,
- розрахунку загальної ефективності обладнання (OEE).

На жаль, нерідкі випадки, коли виробнича компанія має декілька ідентифікацій стану для одного устаткування. Таким чином, критичним аспектом управління інформацією про устаткування є керування різними ідентифікаціями одного і того ж устаткування в системах і застосунках багатьох постачальників.

Обмін інформацією про фізичний актив

Ідентифікація унікального фізичного активу, незалежно від ролі, яку виконує устаткування, життєво важлива для:

- обслуговування,
- кваліфікації устаткування та відповідність нормативним вимогам,
- відстеження фінансових операцій з активами

У той час як устаткування зазвичай ідентифікується тегом, наприклад TT-101 для датчика температури, який визначає роль або поточну функцію інформації про фізичні активи конкретного активу, цього недостатньо для відстеження окремих активів для технічного обслуговування та фінансових цілей. Щоб керувати активами, компанія повинна мати унікальний ідентифікатор фізичного активу, який не залежить від ролі, яку він виконує в певний момент часу. Наприклад, датчик температури TT-101 може мати серійний номер X2 у певний день, наступного дня передавач може бути замінений на датчик із такими самими характеристиками, але з серійним номером X3. Тоді X3 буде налаштовано на тег TT-101, а X2 більше не буде відомий як TT-101. Для відстеження передавачів X2 і X3 буде використовуватися інформаційна модель фізичних активів, тоді як для операційних цілей важливо лише те, що TT-101 використовується та забезпечує зчитування температури. Операторам і системам керування зазвичай не потрібно знати ідентифікатор (серійний номер) активів.

Відстеження окремих фізичних активів дозволяє компаніям відстежувати записи про стан окремих активів, щоб пересвідчуватися, що вони придатні для виробництва, і відстежувати їх у фінансових системах.

Обмін інформацією про персонал

Численні нормативні правила, закони та внутрішні процедури вимагають, щоб персонал, який виконує цехові дії, був однозначно ідентифікований, уповноважений виконувати дії та мав дійсну підготовку або кваліфікацію для виконання дій. Оскільки інформація про персонал зазвичай зберігається в кількох ІТ-системах і системах керування, це ключова область обміну інформацією. Специфічні використання в різних системах, які потребують координації та спільного використання, включають:

- Кваліфікації персоналу MES має бути перевірена, перш ніж комусь дозволять вжити заходів

- LIMS Ідентифікація схваленого персоналу для проведення випробувань і роботи з матеріалами, часто на основі їх кваліфікації навчання,
- Інформація сертифікації AM (Asset Management) про персонал, який виконує діяльність з технічного обслуговування, щоб переконатися, що вони мають відповідну підготовку, необхідну для діяльності,
- Сертифікація WMS про те, що персонал навчений і кваліфікований для роботи з системами переміщення матеріалів, такими як вантажівки або кранові системи.

Для узгодження зв'язку між функціями рівня керування підприємства та виробництва ще в 2000-у році вийшла перша версія стандарту інтегрування ANSI/ISA-95 (ANSI-національні стандарти США, ISA – галузеві стандарти по автоматизації для рядку країн), який сьогодні налічує вже 5 частин та кілька редакцій. Організація ISA заохочує використання та застосування своїх галузевих стандартів на глобальній основі, що відповідно сприяло прийняттю стандарту на міжнародному рівні - IEC 62264, а з 2019 року також прийняті і в Україні [3, 5-7].

До появи стандарту рішення з інтеграції систем керування бізнес-процесами та систем керування виробничими операціями були індивідуальними для кожного виробництва, з власною термінологією, підходами та реалізацією. Крім того, що такі рішення були досить дорогими, виникала складність розширення таких систем при необхідності. Також ускладнювалась оцінка ефективності систем через відсутність спільних означень, а отже й можливості їх порівняння. Відсутність стандартної термінології, різноманітна організаційна культура та інші фактори спричиняли низький відсоток успішних проектів з інтеграції, а їх розробка тривала протягом багатьох років.

1.6. Про стандарти інтегрування IEC-62264/ISA-95

Для рішення цих проблем IEC 62264 (ISA 95) пропонує стандартну термінологію та узгоджений набір концепцій та моделей для інтеграції систем керування із системами підприємства, що покращить комунікацію між усіма зацікавленими сторонами, і зможе надати наступні переваги:

- скоротити час на створення нової системи;
- надавати можливість постачальникам надавати відповідні інструменти для впровадження інтеграції систем керування із системами підприємства;
- дозволяти користувачам краще означувати свої потреби;
- скоротити витрати на автоматизацію виробничих процесів;
- оптимізувати ланцюги постачань;
- зменшити трудовитрати на виконання інженерних робіт протягом життєвого циклу систем.

Стандарт дозволяє замінити специфічну термінологію постачальників на чіткі означення інформації для обміну між функціями організаційно-економічного рівня підприємства та керування виробничими операціями, дає чітке означення кожному елементу інформації за рахунок об'єктних моделей UML та таблиць атрибутів, дозволяє відокремити бізнес-процеси від виробничих.

В Україні з 1-го вересня 2019-го року стандарт ДСТУ EN 62264-1:2019 діє на ряду з [іншими стандартами](#), що просуваються в рамках Технічного Комітету 185 «Промислова автоматизація» (далі – ТК 185). Наразі він прийнятий методом підтвердження (в англomовному варіанті). Основний зміст першої частини перекладений українською і доступний за [посиланням](#) [8].

У світі стандарт ІЕС 62264 займає міцні позиції. За оцінками провідного американського експерта Dennis Brandl з BR&L Consulting його використання може привести до [2]:

- зменшення затрат та зусиль для інтеграції ERP-MES/MOM на 90%;
- кількість вдалих реалізацій з менше 50% зростає до понад 90%;
- скорочення часу на ранніх етапах розробки MES/MOM на 75%;
- підвищення продуктивності виробництва;
- збільшення ринку MES/MOM та конкуренцію на ньому.

Як і будь-який стандарт, ІЕС 62264 має свою цільову аудиторію. В першу чергу він призначений для тих, хто:

- бере участь у проектуванні, будівництві чи експлуатації засобів виробництва (засобів і предметів праці, що їх використовують у процесі виготовлення продукції);
- відповідає за означення інтерфейсів між системами керування виробництвом та іншими бізнес-системами підприємства;
- бере участь у проектуванні, створенні, збуті та інтеграції продуктів автоматизації, що використовуються для забезпечення інтерфейсу між системою керування виробничими операціями та бізнес-системою;
- бере участь у проектуванні або керуванні створенням, переміщенням та зберіганням продуктів на виробничих підприємствах.

Також стандарт ІЕС 62264 може застосовуватись в якості навчального матеріалу, в цьому курсі він є основою для розуміння тих процесів які відбуваються на рівні керування виробничими операціями [2].

1.7. Ієрархія керування промисловим виробництвом

Згідно стандарту ІЕС 62264 функціональна модель керування промисловим виробничим підприємством має кілька рівнів (рис.1.7) [3, 9].

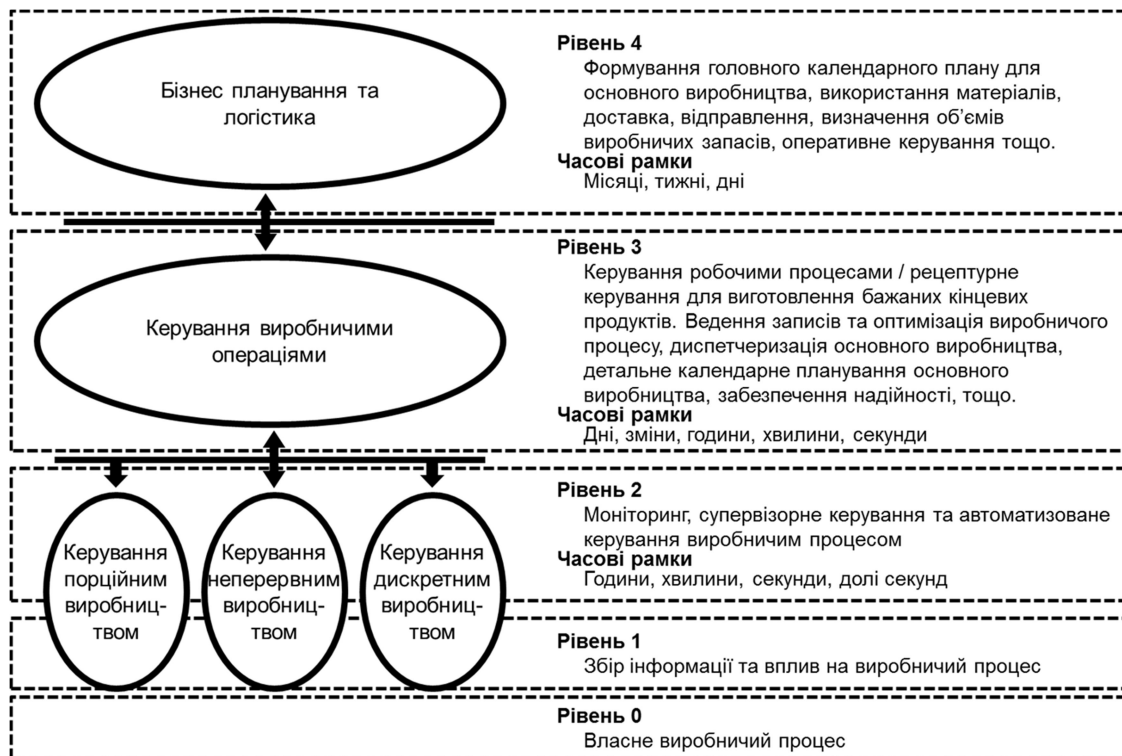


Рисунок 1.7 – Ієрархічна модель керування промисловим підприємством [9]

На рівнях 0-2 відбувається керування технологічними процесами та машинами. Як вже було зазначено вище 0-й рівень автоматизується за рахунок використання польових засобів (датчики, приводи, виконавчі механізми, перетворювачі і т.п.), 1-й - промислових контролерів (PLC/PAC), 2-й - SCADA/HMI. Тут вирішуються локальні для якоїсь ділянки виробництва задачі, які зосереджуються на одному або кількох технологічних процесах створення напівпродукту (рівень Production Process на рис.1.6) або/та керування технологічними установками (рівень Machine на рис.1.6).

На рівні 4 вирішуються різноманітні задачі бізнес-планування та логістики. Це процеси, які автоматизуються різноманітними інформаційними системами типу ERP, CRM, PLM та іншими, які на рис 1.6 вони показані на рівні Enterprise.

На 3-му рівні вирішуються задачі керування виробничими операціями. Сюди входять функції керування усіма типами виробничих операцій націлених на виготовлення продукції, обслуговування обладнання, контролю якості, керування запасами та інші. Вони можуть проводитися як людьми так і автоматично машинами або сумісно. На рис.1.6 це показано рівнями Production Unit та Plant. Ці системи забезпечують керування гнучким виробництвом і є предметом

даної дисципліни. Цей рівень, як вже зазначалося називається MOM (Manufacturing Operations Management).

Контрольні питання

1. Розкажіть на прикладі про принципи функціонування мережі створення вартості з кількох підприємств та важливість їх цифровізації при цьому.
2. Розкажіть про основні етапи життєвого циклу продукту, наведіть приклад. Які етапи стосуються саме виробничої частини? Які типи організацій приймають участь на кожному етапі?
3. Розкажіть про основні етапи життєвого циклу виробничої системи, наведіть приклад. Які етапи стосуються саме виробничої частини? Які типи організацій приймають участь на кожному етапі?
4. Розкажіть про основні етапи життєвого циклу ланцюжка постачань, наведіть приклад. Які етапи стосуються саме виробничої частини? Які типи організацій приймають участь на кожному етапі?
5. Покажіть на прикладі як життєві цикли продукту, виробничої системи та ланцюжка постачань пересікаються в частині виробництва. У чому необхідність їх інтегрування?
6. Розкажіть про призначення та основні функції наступних інформаційних систем: PLM, CAD/CAM/CAx, Simulation, CRM, ERP, Asset Managemnet/EAM, Recipe Managment System (RMS), MES, WMS, LIMS, QMS, Historian, SCADA/HMI, PLC/PAC
7. Розкажіть про ключові бізнес-драйвери, які спонукають до інтегрування різноманітних інформаційних систем
8. Які є проблеми інтегрування інформаційних систем виробничого підприємства, та в чому є необхідність стандартизації?
9. Які переваги надає використання стандарту IEC-62264/ISA-95?
10. Розкажіть про ієрархію керування промисловим підприємством з точки зору IEC 62264.

2. Стандарти інтегрування. Основні моделі.

2.1. Стандарти інтегрування систем керування підприємством

На минулій лекції інтегрована система керування виробничими підприємством представлялася як ієрархічна система, в якій є 5-рівнів керування. Враховуючи що на цих рівнях автоматизуються різні за характером функції а реалізація відбувається в зовсім різних інформаційних системах, то навіть предметна область там відрізняється. Для можливості сумісної взаємодії розроблено ряд стандартів, які описують моделі для представлення різноманітних сутностей.

Серед найбільш важливих стандартів, в яких систематизовані кращі практики розробки інтегрованих автоматизованих систем керування є американські стандарти ANSI/ISA-95 [8-10] та аналогічні їм світові аналоги ІЕС-62264 (МЕК-62264), які по суті являються адаптацію ISA. В Україні, ці стандарти прийняті методом підтвердження. Для розуміння місця сучасних стандартів в інтегрованому виробництві, слід розглядати їх в контексті функціональної структури, яка наведена в першій частині ISA-95 (див. рис.2.1), яка була наведена в минулій лекції. Пригадаємо, що 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 протязі MES(Manufacturing Execution System), так як MOM охоплює більше функцій, ніж прийнято відносити до систем MES. Так, наприклад, MOM включає в себе ряд функцій оперативного керування обслуговування фізичних активів підприємства, що не передбачається моделлю MES.

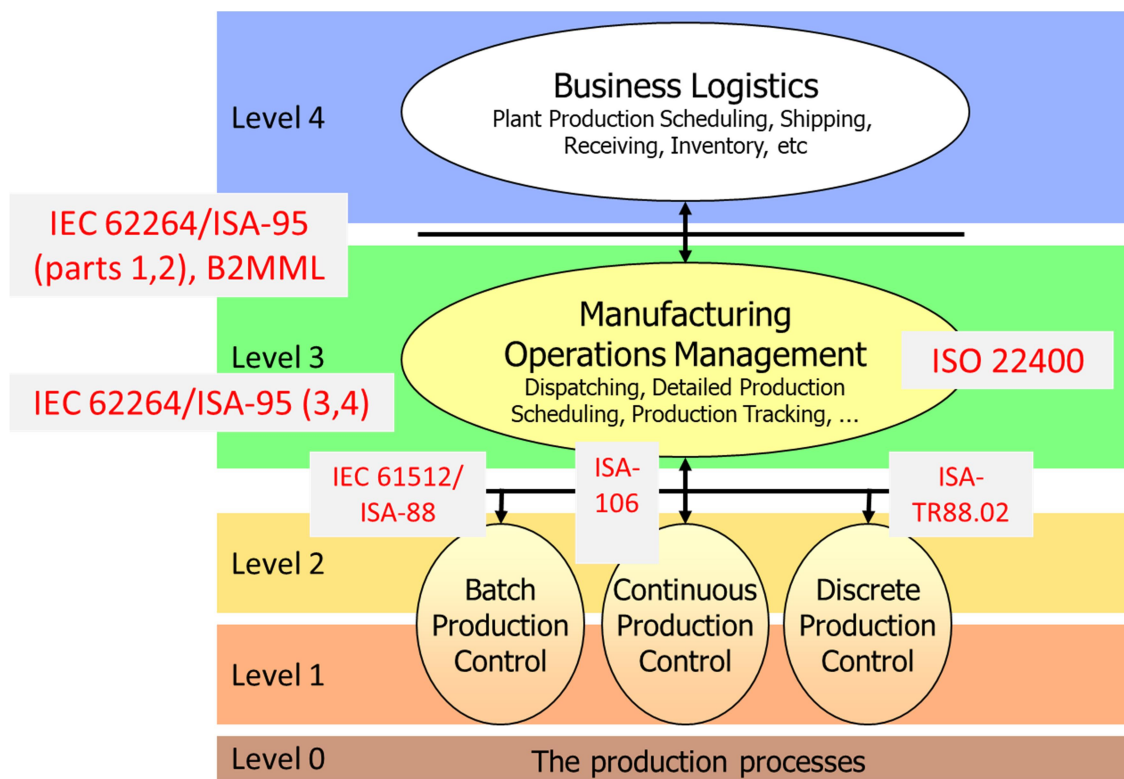


Рисунок 2.1 – Місце різних стандартів інтегрування у ієрархічній моделі керування промисловим підприємством [9]

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.

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 Production Control – керування порційним виробництвом
2. Continues Production Control – керування неперервним виробництвом
3. Discrete Production Control – керування дискретним виробництвом

Це розділення зумовлене певними особливостями способу вироблення продукції, що, як відомо, накладає свій слід на особливості керування виробничими процесами.

- Неперервне виготовлення продукції (Continues Production) передбачає неперервний потік матеріалу, для якого в потоці (просторі) змінюють властивості. Неперервність потоку передбачає відповідне керування, яке як правило включає більше неперервного регулювання.
- Дискретне виготовлення продукції (Discrete Production) базується на поштучному виготовленні, яке часто передбачає збірку з кількох деталей одного виробу.
- Порційний спосіб виготовлення продукції (Batch Production) передбачає проведення технологічних дій в один момент часу одразу з певною частиною матеріалу (порція, партія, batch).

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. Так, наприклад для неперервного виробництва продуктивність означається через кількість продукту за певний час, тоді як для порційного - мінімальна/максимальна одиниця партії за певний час. По-друге, алгоритми керування 2-го рівня повинні враховувати необхідність реалізації двохсторонньої інтеграції за принципом: вниз – планування, вгору – фактичний стан. Для цього, в керуванні порційним виробництвом (Batch Control) вже довгий час використовується стандарт ISA-88 (IEC 61512). 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 та аналогічні їм IEC та ДСТУ охоплює керівну діяльність практично усіх 3-х нижніх рівнів ієрархії керування виробничим підприємством [3,5-7, 10]:

1. ISA 95.01 та ISA 95.02 (та аналогічні IEC 62264) – моделі даних в обміні між 3-м (MOM) і 4-м (ERP) рівнем

2. ISA 95.03 та ISA 95.04 (та аналогічні IEC 62264) – 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 IEC. Окрім даної групи стандартів при розробленні систем керування виробництвом враховують також і інші стандарти. Стандарт ISO 22400 описує принципи розроблення та використання виробничих ключових показників ефективності (KPI) а також наводить найбільш вживані. Цей стандарт ще згадуватиметься в курсі по ключовим показникам ефективності і також прийнятий в Україні методом підтвердження [11-13].

Багато з необізнаних про стандарт людей вважають, що стандарт покликаний забезпечити прозорість інформаційного обміну між застосунками на протокольному рівні, як це наприклад зроблено в OPC для інтегрування технічних та програмних засобів. Такого роду задачі вирішуються іншими стандартами та специфікаціями, і це не є сьогодні проблемою. Стандарт IEC 62264 розроблений для інтегрування систем керування підприємством та виробництвом на функціональному рівні. Тобто задача стандарту не в забезпеченні передачі даних, а у означенні сутностей (що саме) і набору їх атрибутів (як саме). Ось назви усіх частин стандартів IEC 62264:

- IEC 62264-1 Edition 2.0 2013 Enterprise-control system integration – Part 1: Models and terminology
- IEC 62264-2 Edition 2.0 2013 Enterprise-control system integration – Part 2: Objects and attributes for enterprise-control system integration
- IEC 62264-3 Edition 2.0 2016 Enterprise-control system integration – Part 3: Activity models of manufacturing operations management
- IEC 62264-4 Edition 1.0 2015 Enterprise-control system integration – Part 4: Object model attributes for manufacturing operations management integration
- IEC 62264-5 Edition 2.0 2016 Enterprise-control system integration – Part 5: Business to manufacturing transactions
- IEC 62264-6:2020 Enterprise-control system integration - Part 6: Messaging service model

У перших 4-х частин в назві стандарту оперує слово *model*. Саме модельне представлення сутностей є предметом стандартизації. Архітектурна модель відображає логічні та фізичні зв'язки

між компонентами системи керування виробництвом та іншими системами, які взаємодіють з ними. Архітектурна модель - це один з типів моделей, що описує структуру, функції та взаємодії складних систем. Вона відображає абстрактні поняття, які відображають функціональні та фізичні аспекти системи. Архітектурна модель використовується для опису системи на високому рівні абстракції, тобто для надання загальної уяви про те, як система працює, а не для детального опису кожної її частини.

Перш за все в стандарті визначилися з тим, а взагалі, яку саме необхідно надавати інформацію і кому вона потрібна. Для цього ІЕС 62264 виділяє дві області керування: домен підприємства та домен керування виробничими операціями та технологічними процесами (MO&C Manufacturing Operations and Control). Принципи за якими відбувається це розділення наведені в п.5 першої частини стандарту. Умовно, все що стосується зовнішньоекономічної діяльності підприємства, стратегічного та довгострокового планування ресурсами, тощо відносяться до домену підприємства, а виробничі операції – до MO&C. Далі, в межах кожного домену виділяються взаємопов'язані функції, частина з яких представляють інтерес в іншому домені. Так, наприклад, функція керування та керування ресурсами основного виробництва MO&C може бути використана в функції прогнозування випуску продукції на рівні ERP. Ці функції взаємопов'язані інформаційними потоками, які і є складовою тих даних, якими обмінюються рівні. Цю інформацію категоризують і описують у вигляді об'єктних моделей.

Таким чином, ІЕС 62264 надає моделі та інформацію на різних рівнях деталізації та абстрагування. Кожна модель та схема збільшують рівень деталізації, представлений у попередній моделі.

2.2. Функціональна модель

У загальному, усю діяльність виробничого підприємства можна показати у функціональному представленні як показано на рис.2.2. Ці функції стосуються як діяльностей що безпосередньо стосується виробничих потужностей, так і організаційно-економічних діяльностей підприємства.

Функції з рис.2.2. можна згрупувати за відношенням до домену та до категорії операцій, до яких вони застосовуються, в представлення, яке показане на рис.2.3. Частина функцій цих груп, що виділені на рисунку сірим в жовтому контурі, відносяться до домена виробництва. «Виробництво» (Manufacturing) - це не тільки операції по виготовленню продукції (Production), які в українській термінології відносяться до «основного виробництва».

До виробничих операцій входять такі **категорії**:

- операції по виготовленню продукції (Production), основне виробництво;
- операції керування запасами (Inventory);

- операції по контролю якості (Quality);
- операції по технічному обслуговуванню (Maintenance);
- інші операції.

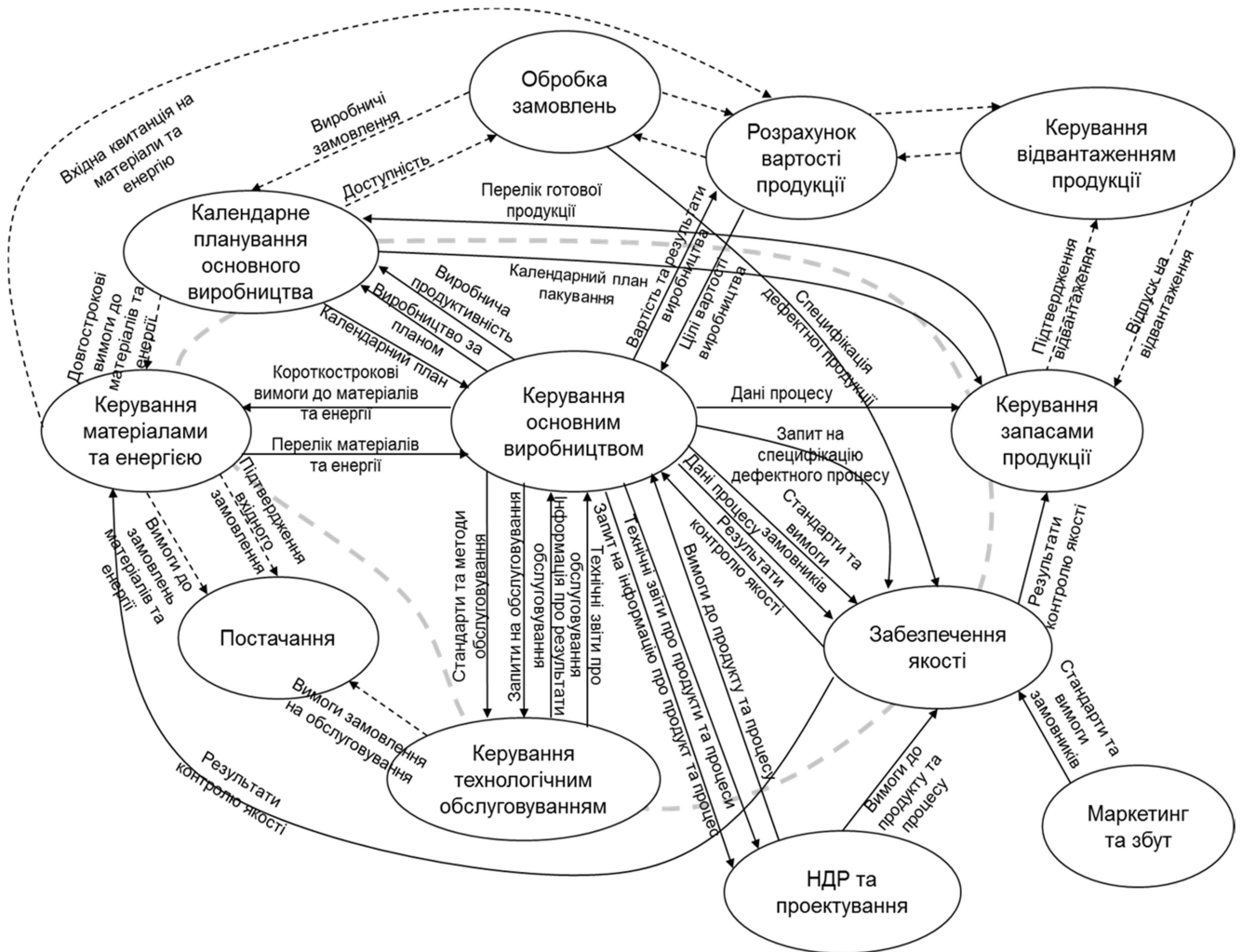


Рисунок 2.2 – Функціональна модель керування виробничим підприємством [3, 9]

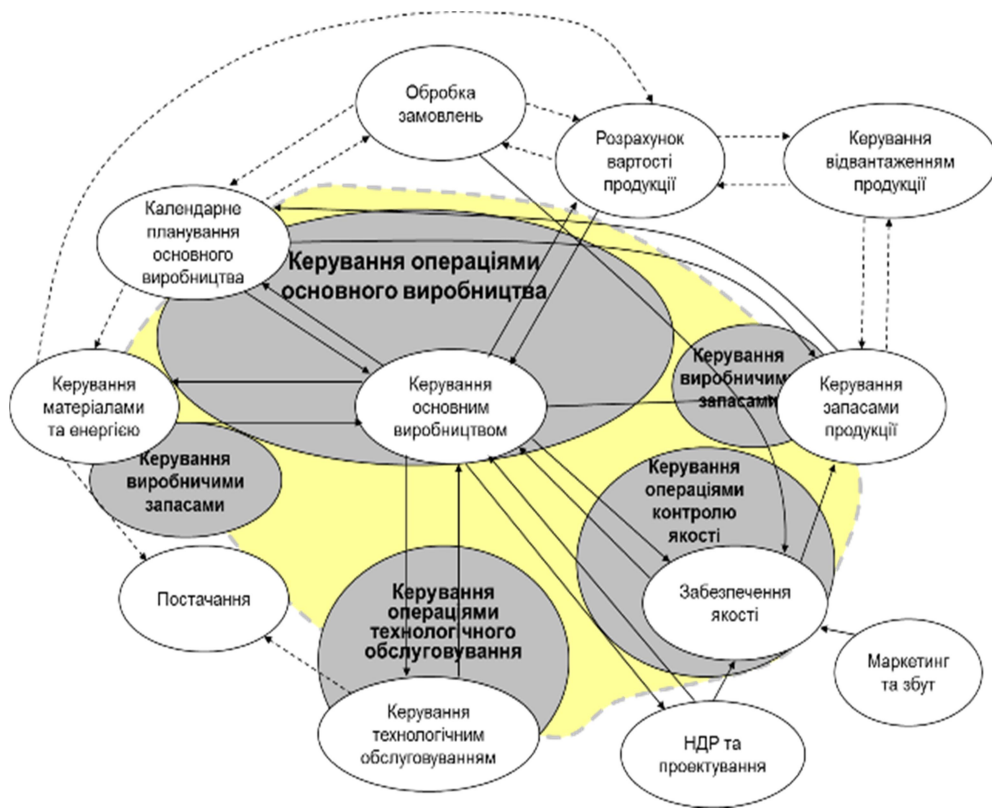


Рисунок 2.3 – Спрощена функціональна модель з об'єднаними функціями [3, 9]

Цими діяльностями традиційно займаються різні виробничі підрозділи і, як було зазначено в попередній лекції, часто автоматизовані з використанням різних типів програмних засобів (EAM/TOiP, LIMS, MES і т.п.). Стандарт об'єднав ці діяльності під один спільний знаменник «виробничі операції» (Manufacturing Operations), які використовують спільні моделі ресурсів, що дає змогу розглядати одні і ті самі сутності підприємства з різних точок зору. Тому стандарт на концептуальному рівні легко поєднує скажімо устаткування з точки зору виробників і обслуговуючого персоналу. Це дає змогу інтегрувати системи не тільки на різних рівнях ієрархії, але і на одному і тому ж рівні MOM. Стандарт дозволяє розширювати ці типи діяльностей.

2.3. Обмін інформацією між рівнями L3 та L4

На рис.2.3 пунктирна лінія розділяє дві області керування: домен підприємства та домен керування виробничими операціями та технологічними процесами (MO&C Manufacturing Operations and Control). По цій лінії умовно проводиться межа між інформаційними системами рівня 4 (керування підприємством, наприклад ERP) та 3 (керування виробництвом, MOM) які показані на в рис.2.1. Саме по цій лінії повинно проходити інтегрування цих систем, тому обмін між ними і є предметом стандартизації перших 2-х частин стандарту.

Як видно з рис.2.3 деякі функції розділені цієї лінією, а для інших функцій, які пов'язані між собою але знаходяться по різні боки від лінії, вона є точкою поєднання. Таким чином стандарт повинен надати механізми опису тих сутностей які передбачають таку взаємодію. Розглянемо це на прикладі категорії операції по виготовленню продукції. Як видно з рис.2.3 вона включає дві функції: керування основним виробництвом (production management) та календарне планування основного виробництва. Для кращого розуміння такої взаємодії, варто розібрати спочатку рис.2.2 Перша функція повністю зосереджена на виробничому майданчику і передбачає керування операціями по виготовленню продукції на конкретних виробничих потужностях. Це внутрішньо-цехові операції, які не потребують керування з боку планово-економічного відділу за винятком одного - календарного плану виготовлення. Однак календарне планування проводиться на різних рівнях:

- об'ємне, яке показує скільки і якої продукції повинен виготовити наприклад цех за певний період часу
- детальне, яке показує коли і які ресурси і в якій послідовності на виробничому майданчику, наприклад в цеху, треба задіяти, щоб випустити вказану кількість продукції.

Перша частина, тобто об'ємне планування, проводиться з урахуванням виробничого замовлення (див.рис.2.2). Однак для того щоб зробити коректне замовлення необхідно розуміти фактичну доступність ресурсів на вказаний момент часу. У будь якому випадку, це виконується на рівні планово-економічної діяльності підприємства (L4), що на рис.2.3 показано поза жовтою областю. Детальне календарне планування є діяльністю, яка направлена на задіяння ресурсів на виробничому майданчику, і є "жовтою частиною" календарного планування. Таким чином об'ємне календарне планування проводиться з урахуванням доступних ресурсів на виробництві та видається на частину виробничого майданчику в якості завдання: що робити і в яких кількостях; які ресурси задіяти. З іншого боку, з виробничого майданчику повинна приходити інформація про доступні ресурси та звітність про фактичні показники виробництва. Такий обмін між рівнями показаний на рис.2.4.

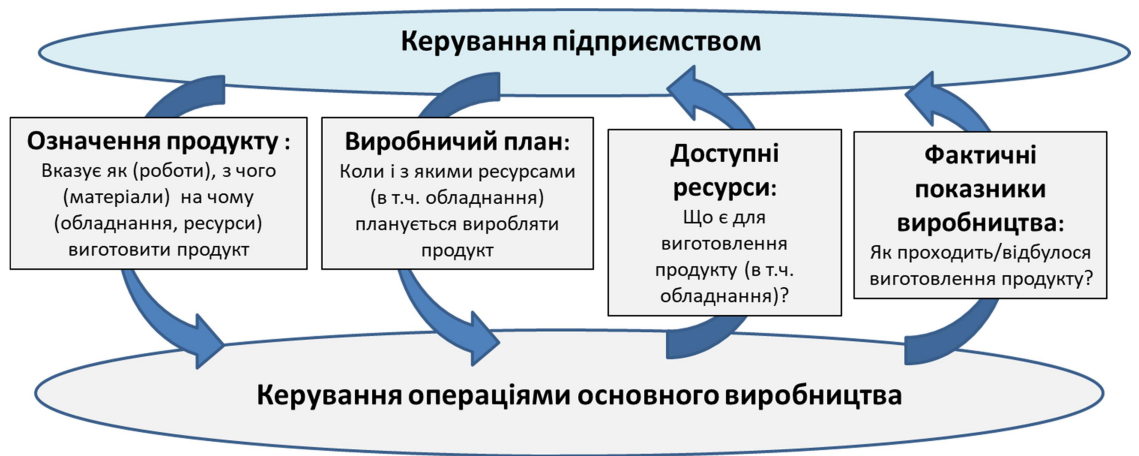


Рисунок 2.4 – Обмін між рівнями керування на прикладі категорії керування операціями основного виробництва

Якщо подивитися на рис.2.3 та 2.4 з точки зору оцінки обміну інформацією між функціями, то видно, що деякий обмін є кроскатегоральний (між категоріями, а деякий є загальним який стосується всіх категорій операцій. Тому наведений на рис.2.4 принцип обміну буде характерним і для інших категорій операцій. Тому в стандарті передбачено чотири категорії інформації про виробничі операції, які відносяться до чотирьох категорій діяльностей керування виробничими операціями, а саме:

- інформація про календарне планування – інформація про запити на виконання робіт у межах однієї або декількох категорій діяльностей;
- інформація про результати діяльностей (показники виробництва) – інформація про роботу, виконану в межах однієї або декількох категорій діяльностей;
- інформація про продуктивність – інформація про можливості виконувати роботу в межах однієї або декількох категорій діяльностей;
- інформація про означення – інформація про означення роботи, яка може бути виконана в межах однієї або декількох категорій діяльностей.



Рисунок 2.5 – Інформація про виробничі операції [3]

Для того, щоб описати показані на рис.2.5 інформаційні потоки, стандарт означає моделі ресурсів.

2.4. Моделі ресурсів

Не дивлячись на такі абстрактні на перший погляд описи, стандарт містить дуже конкретні моделі. Під словом «модель» треба розуміти опис об'єктів та їх взаємозв'язки. По суті інформація, яка слугує інтегруванню, включає в себе опис конкретних сутностей. Найпростішими для розуміння сутностями є виробничі ресурси.

Підприємство з точки зору ресурсів представляє собою взаємопов'язану сукупність (систему) таких ресурсів:

- устаткування (equipment), яке виконує певну роль у виготовленні продукції;
- матеріали (materials) з яких виготовляється продукт і який представляє готовий продукт;
- персонал (personnel), який також приймає участь у виробництві;
- активи (physical asset) – устаткування з точки зору балансу підприємства.



Рисунок 2.6 – Моделі ресурсів [3]

Правильне означення усіх моделей є дуже важливим при керуванні. При необхідності надати інформацію про ресурси рівню керування підприємством, вони поєднуються в сегменти процесу. Таке логічне об'єднання проводиться з точки зору їх призначення.

Устаткування та активи

Устаткування (Equipment), як ресурс розглядається детальніше в наступних лекціях, тут зупинимося тільки на основних моментах. По-перше, устаткування - це будь який невитратний нематеріальний ресурс, який є у підприємства і виконує певну роль. В залежності від того, на якому рівні керування це устаткування виконує свою роль, воно виділяється в ієрархії на певному рівні. На рис.2.7 показаний приклад ієрархії устаткування, відповідно до означеного в стандарті ІЕС 62264. Устаткування на нижньому рівні підпорядковується верхньому рівню і з точки зору групування є його частиною. Найвищим рівнем керування є підприємство, яке включає виробничі майданчики, що включають в себе цехи. Цехи включають в себе робочі центри, що виконують роль виготовлення напівпродукту за вказаними операціями, які він може виконувати з вказаної сировини у вказаний період часу.

Саме робочі центри, як правило, є одиницями оперативного планування. При плануванні проявляється особливість типу виробництва (неперервне, дискретне і порційне). Робочі вузли в робочих центрах є «робочими конячками» процесу виконання операцій. Ці три рівні устаткування (цех, робочий центр, робочий вузол) складають основу виробництва і описуються в термінах продуктивності і потреб в ресурсах. Устаткування, що знаходяться вище них, задіяні в процесах керування рівня L4, що нижче – рівня L2. Для стандартів ISA-88/IEC 61512, PackML та ISA-106 – модель устаткування є єдиною, що робить її застосовною для інтеграції між цими рівнями.

Слід відмітити, що з точки зору виробників на підприємстві використовується устаткування (Equipment, рольова ієрархія), а з точки зору обслуговуючого персоналу (електрики, механіки, КВПіА) – це є активами (Asset), які на певний час знаходяться в ролі певного устаткування (рис.2.8).

Наприклад, двигун з певним серійним номером, який знаходиться на балансі є активом (asset). Але в певний момент часу він знаходиться в ролі двигуна для насосу - це устаткування (Equipment). На місці цього устаткування можуть знаходитися різні активи. Один і той самий актив може бути різним устаткуванням, а може бути матеріалом, при його виготовленні.

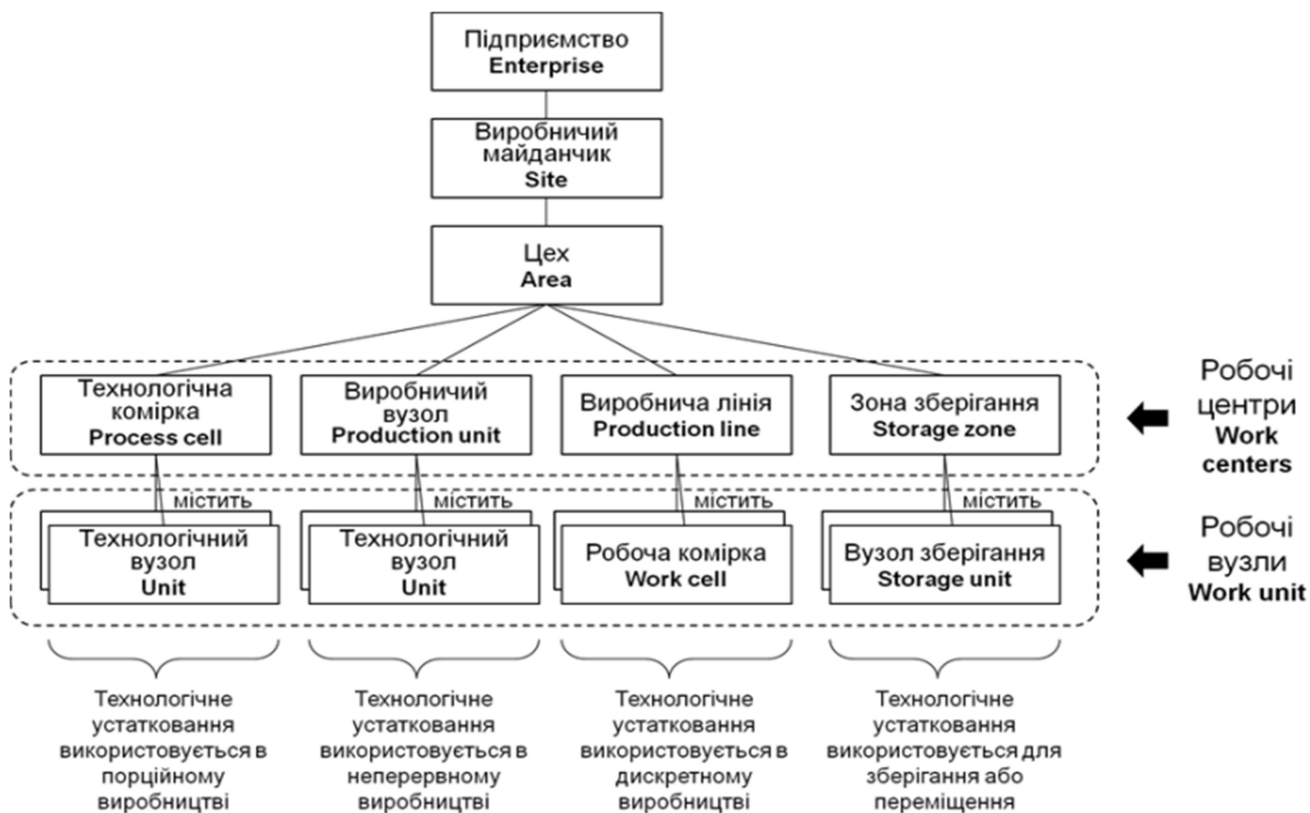


Рисунок 2.7 – Модель устаткування [3]

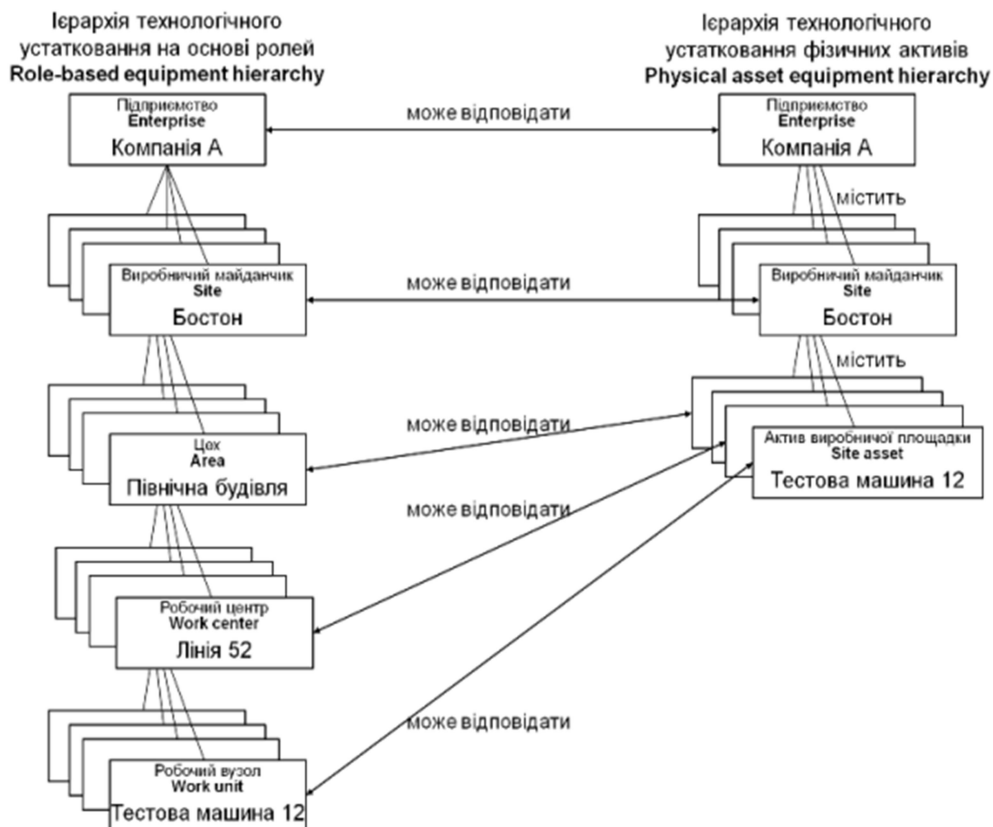


Рисунок 2.8 – Приклад ієрархії фізичних активів, пов'язаної з ієрархією технологічного устаткування на основі ролей [3]

Для операцій рівня L4 більш цікавими є не моделі ресурсів, а їх об'єднання з точки зору виконання певної операції. Тому окрім базових ресурсів в стандарті є «сегменти», які по суті об'єднують об'єкти різного типу для означення можливостей (сегмент процесу) або потреб для виготовлення продукту (сегмент продукту).

Матеріали

Матеріал (Material), це витратний ресурс, який означає партії (лоти, lot) та підпартії (sublot) матеріалів і класів матеріалів, які беруть участь у виробництві. Ця інформація дозволяє системам рівня 3 і рівня 4 однозначно ідентифікувати матеріал, зазначений у виробничих календарних планах і спожитий або вироблений у фактичному виробництві. Основним бізнес-чинником використання моделі матеріалу є надання можливості відстежувати всі матеріали, використані у виробництві продукту, щоб допомогти в аналізі залишків, руху та якості сировини, напівпродуктів чи продуктів.

Рис. 2.9 ілюструє модель матеріалу, яка складається з партій (Lot), підпартій (Sublot), класів (Material Class) матеріалів, означень матеріалів (Material Definition) та специфікації випробування матеріалу (QA Test Specification). Розглянемо це детальніше.

Кожен екземпляр ресурсу, має означення матеріалу (Material Definition), наприклад "соляна кислота 50%" (HCl 50%) який у свою чергу може належати до класу матеріалу, наприклад "соляна кислота" (HCl Acid), який може використовувати для логічного групування. Кожне означення та клас матеріалу може мати певні властивості, наприклад pH чи колір. Ці властивості можуть бути вкладеними, тобто властивість може мати власні властивості.

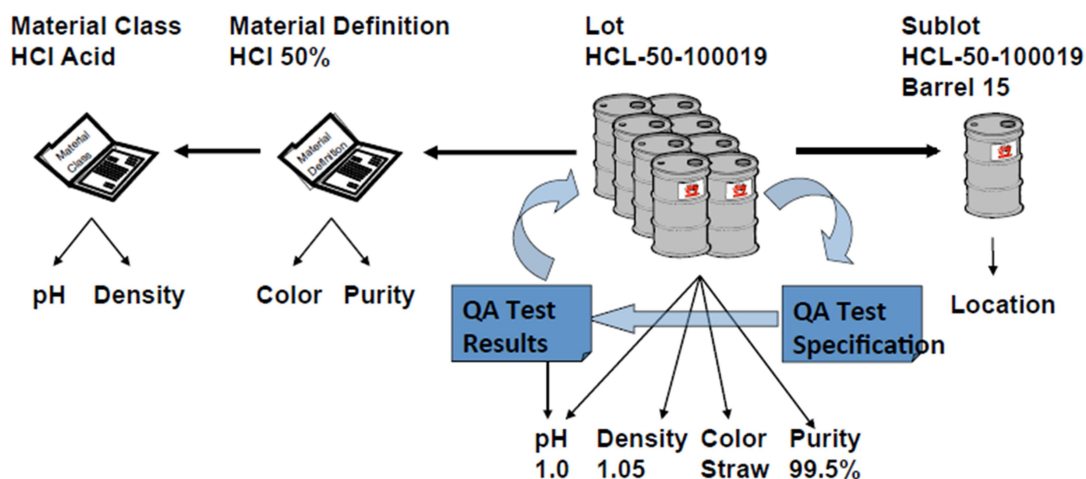


Рисунок 2.9 – Приклад означення матеріалу [3]

Означення матеріалів можуть бути зібрані з інших означень матеріалів, наприклад у випадку збірного вузла під час виробництва автомобілів. Так, наприклад трансмісія, яка ідентифікується як означення матеріалу, попередньо зібрана з багатьох інших означень матеріалів, які є його деталями.

Кожна партія(лот, Lot) матеріалу є конкретним екземпляром означення матеріалу. Партія є унікально ідентифікованою. Партії матеріалів також мають властивості, які можна вкладати, а також можуть використовувати конструкцію складання, подібну до тієї, що використовується у означеннях матеріалів. Відмінність полягає в тому, що партію матеріалу можна зібрати з інших партій матеріалу та/або підпартій матеріалів. Властивості екземпляра партії матеріалу зазвичай використовуються для відстеження конкретних поставок або замовлень матеріалів.

Кожна підпартія матеріалу є унікально ідентифікованим екземпляром означення матеріалу. Підпартії матеріалу не мають властивостей, оскільки кожен екземпляр підпартії повинен мати ті самі властивості, що й партія матеріалу, частиною якої він є. Підпартії матеріалів також можуть використовувати ту саму конструкцію складання, що й партії матеріалів. Екземпляри підпартій матеріалів зазвичай використовуються для забезпечення чіткості відстеження в межах партій. Наприклад, партія матеріалу може бути отримана від постачальника в десяти бочках, кожна бочка

може ідентифікуватися як окрема підпартія, щоб відстежувати її переміщення та умови навколишнього середовища під час зберігання і виробництва.

Специфікація випробування матеріалу (Material Test Specification, QA Test) означає випробування, яке може бути пов'язане з визначенням значення властивості класу матеріалу, визначення матеріалу або екземпляра партії матеріалу. Інформація, отримана під час виконання тесту, може бути змодельована в результатах тесту QA (QA Test Result).

Персонал

Модель персоналу - це означення осіб і класів (ролей) персоналу, які беруть участь у виробництві. Цю інформацію можна використовувати для пов'язування виробництва з конкретними особами як частиною виробничого запису або з класами персоналу для розподілу виробничих витрат.

Модель персоналу є абстрактною моделлю, яка дозволяє визначити особу та ролі, які окремій особі можуть бути призначені. Вимоги, пов'язані з певною роллю, можуть включати спеціальне навчання або сертифікацію. Це може бути пов'язано з посадою або навичками. Одна особа може виконувати кілька ролей. Особи можуть бути згруповані в тип Person, щоб дозволити пов'язувати властивості з усіма особами, які належать до даного типу. Наприклад, тип особи або тип оператора може дозволити кільком операторам проходити однакові визначені кваліфікаційні тести, деякі з яких визначаються роллю оператора, інші можуть визначатися роллю безпеки або роллю для певного типу обладнання.

Кожен екземпляр класу персоналу (Personnel Class) є об'єктною моделлю персоналу. Кожен екземпляр класу персоналу визначає роль, яку може виконувати особа, наприклад оператор. Кожна роль може мати певні властивості, наприклад номер ліцензії на розробку та дату закінчення терміну дії ліцензії. Ці властивості також можуть мати власні вкладені властивості. Кожна особа (Person) може бути пов'язана з однією або кількома ролями класу персоналу. Якщо особа є оператором, тоді властивості особи означають значення для номера ліцензії на оператора та дати закінчення терміну дії ліцензії для цієї особи. Специфікація кваліфікаційного тесту (Qualification Test Specification) означає тест, який може бути пов'язаний із визначенням значення властивості (наприклад, тест для кресляра, який використовується для отримання номера ліцензії на проектування). Інформація, отримана під час проходження тесту, може бути змодельована в результатах кваліфікаційного тесту (Qualification Test Result).

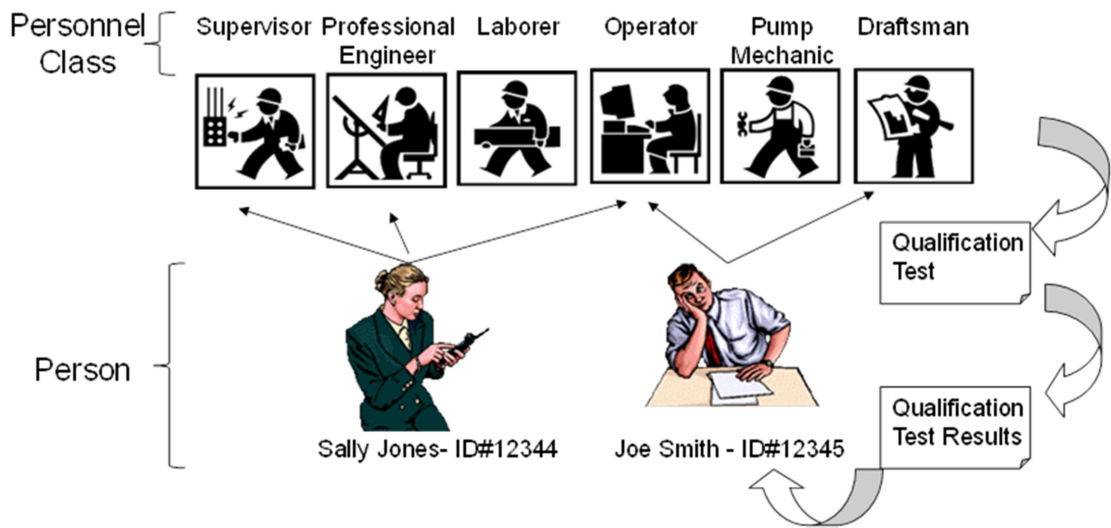


Рисунок 2.10 – Приклад означення персоналу [14]

Сегменти процесу

Сегмент процесу - це об'єднання ресурсів, які показують які ресурси (або класи ресурсів) є або потребуються на виробництві для проведення операції (-цій), наприклад виготовлення певного напівпродукту. Це устаткування, активи, персонал які задіяні або потребуються в поцесі, і матеріали які зараз є в наявності або потребуються. Сегмент процесу розглядається без відношення до конкретного продукту. Сегмент бізнес-процесів – синонім сегмента процесу, при відображенні аспектів, орієнтованих на бізнес складову сегменту процесу.

Інші типи інформації в моделях представляють зв'язки між різними типами сегментів, що стосуються ресурсів та операцій. Наприклад, на рисунку 2.11 зображено взаємозв'язок наступних сегментів:

- сегмент процесу – це ідентифікація ресурсів із конкретними продуктивностями, необхідними для сегменту виробництва, незалежно від означення конкретного продукту чи операцій,
- сегмент продукту – еквівалентна назва сегмента операцій, який є специфічним для виробництва та визначений у цій частині МЕК 62264, сегмент операцій - це ідентифікація кадрових ресурсів, ресурсів устаткування та специфікацій матеріалів, необхідних для завершення сегмента процесу. операційний крок для конкретного продукту,
- вимоги до сегмента – це ідентифікація кадрових ресурсів, ресурсів устаткування та матеріальних специфікацій, необхідних для запланованих операцій (визначених в МЕК 62264-2),

- поточна інформація сегменту – це ідентифікація кадрових ресурсів, ресурсів устаткування та специфікацій матеріалів, що фактично використовуються в операціях (визначених в МЕК 62264-2).

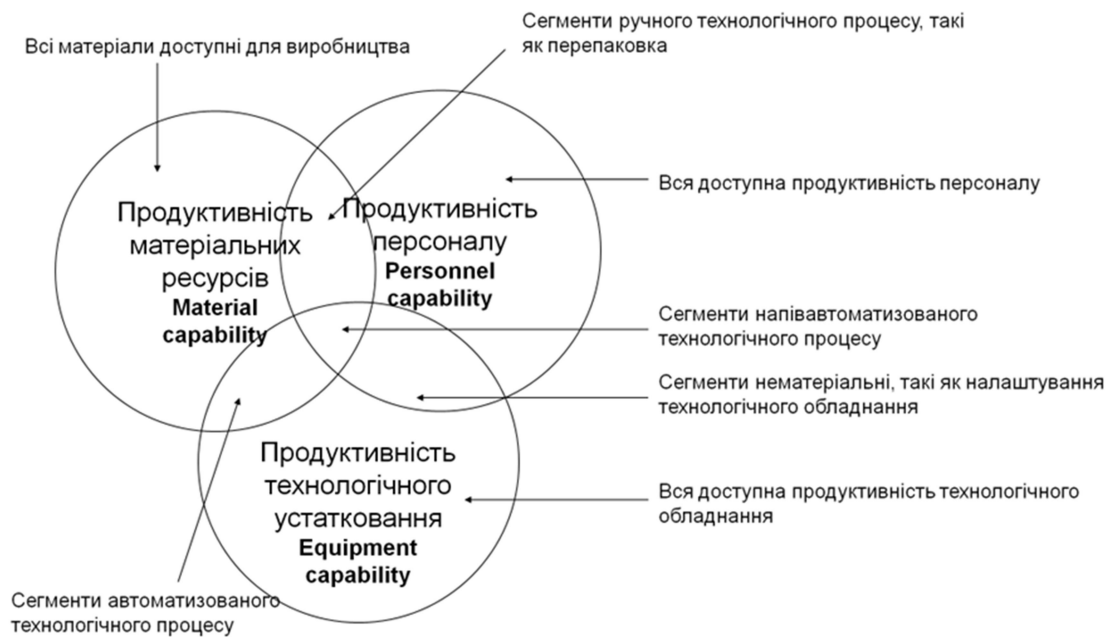


Рисунок 2.11 – Взаємозв'язок сегментів [3,9]

Сегмент процесу може складатися з інших сегментів процесу в ієрархії означень. Сегмент процесу може:

- ідентифікувати тривалість часу, пов'язана з ресурсом, наприклад 5 годин або 5 годин/100 кг;
- ідентифікувати правила обмеження, пов'язані з упорядкуванням або послідовністю сегментів;
- містити специфікації конкретних ресурсів, необхідних для сегменту процесу;
- містити параметри, які можуть бути перелічені в конкретних операційних запитах.

На рис.2.12 показаний приклад сегментів процесу, який надає можливість показати можливості конкретних ділянок виробництва.

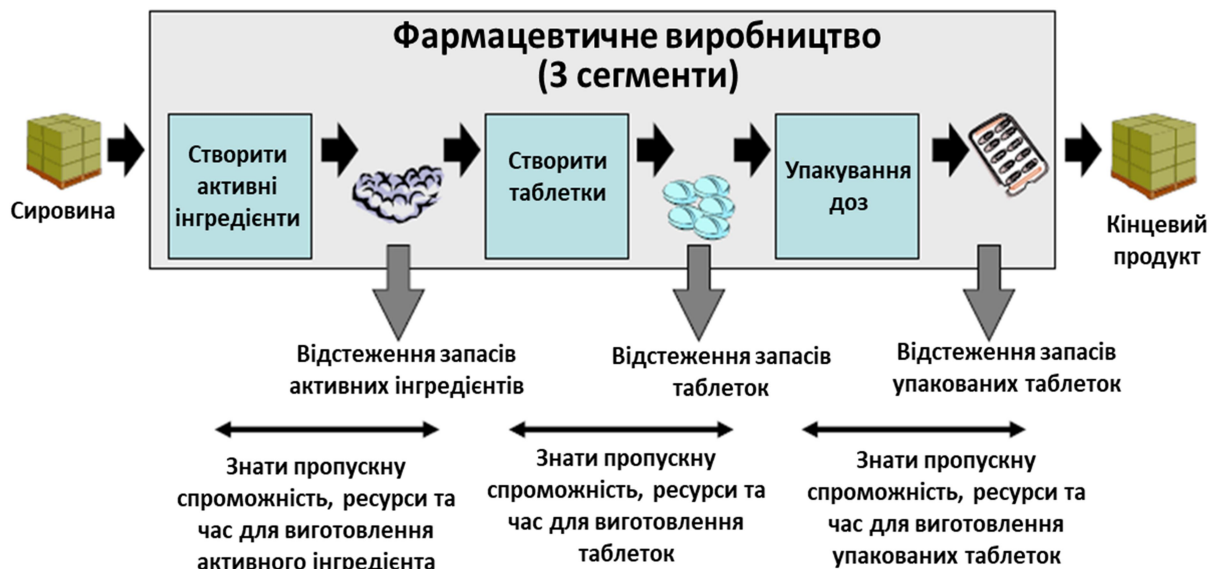


Рисунок 2.12 – Приклад сегментів процесу [3, 15]

2.5. Представлення моделей ресурсів в стандартах

Перша частина стандартів ISA-95/IEC-62264 має описовий характер та надає основні терміни та означення а також загальну ідею представлення моделі. Друга частина містить табличне представлення та схеми UML (уніфікована мова моделювання у вигляді схем), які вже означають вимоги до конкретної реалізації. Специфікація B2MML - це вже конкретна реалізація представлення сутності при передачі даних між різними інформаційними системами, яка використовує мову опису даних XML.

Хоч даний курс не передбачає діяльності щодо розроблення частини інформаційного забезпечення що відповідає за обмін, для кращого розуміння наведемо приклад означення таблиць та схем в стандарті на прикладі сегменту процесу.

На рис.2.13 показана дещо спрощена модель сегменту процесу у форматі UML. Як видно зі схеми Сегмент процесу може складатися (позначення ромбом) з інших сегментів процесу, що дає можливість представляти виробничі можливості ієрархічним способом. Також сегменти процесу можуть залежати один від одного. Наприклад, залежність сегмента процесу може визначати, що сегмент тестування повинен слідувати за сегментом збірки. Зі схеми на рис.2.13 також видно, що сегмент процесу може включати параметри та специфікацію до ресурсів які відповідають певним моделям ресурсів. Нижче розглянемо більш детально, як ця модель конкретизується у вигляді таблиць.

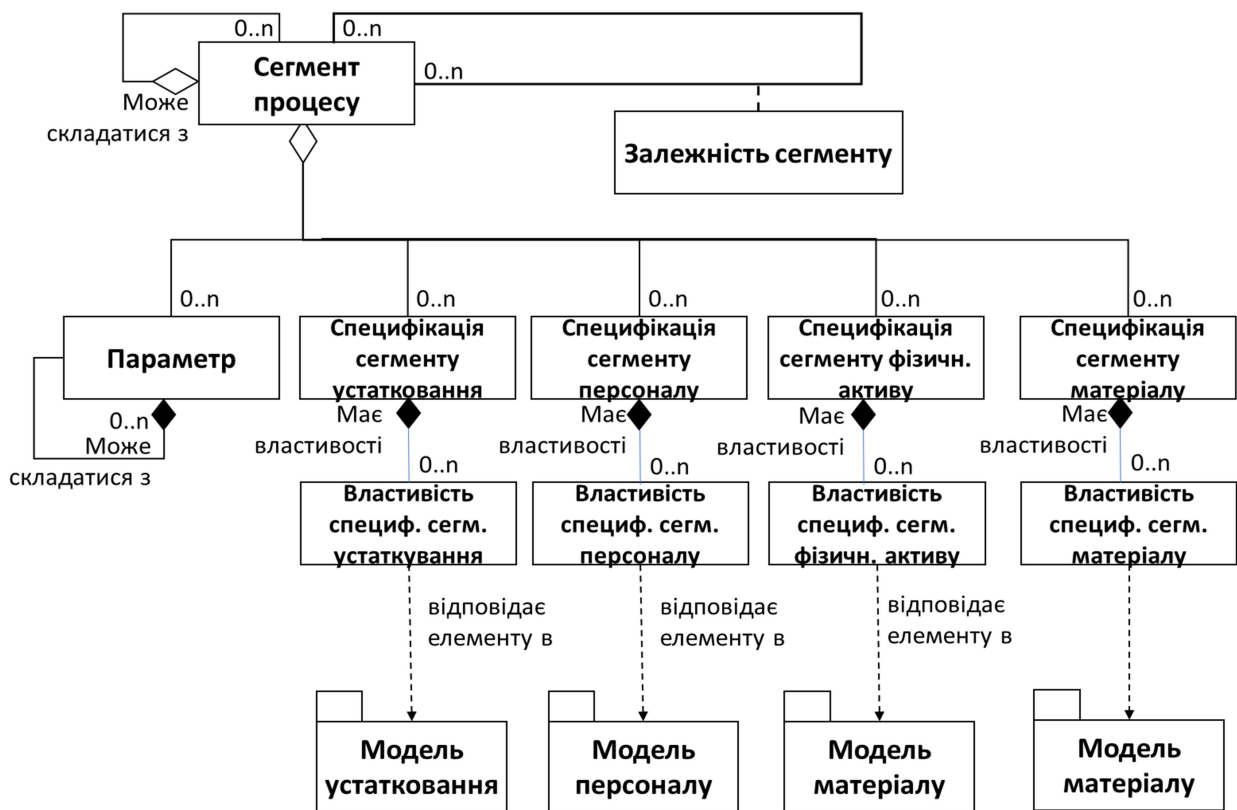


Рисунок 2.13 – Модель сегменту процесу [5]

У таблиці 2.1 показані атрибути Сегменту процесу.

Таблиця 2.1. Атрибути Сегменту процесу

Атрибут	Опис	Приклад основного виробництва	3
ID	Унікальна ідентифікація сегменту процесу в межах інформації, якою обмінюється для посилання на цей сегмент	Фрезерування рам заготовок	
Опис	Додаткова інформація про сегмент	Операція фрезерування рами, операція з окремою вартістю	
Тип операції	Описує категорію обов'язкового атрибута діяльності, тобто один з варіантів: основне виробництво, технічне обслуговування, якість, запаси або змішане. «Змішана»	Основне виробництво (Production)	

Атрибут	Опис	Приклад з основного виробництва
	слід використовувати, якщо діяльність містить кілька категорій сегментів процесу.	
Область ієрархії	Означує місце обміну інформацією в рольовій ієрархії устаткування. Опційно означає область означення сегмента процесу, наприклад майданчик або цех, для яких він означений.	Південний берег (майданчик) / робоча лінія (цех)
Тривалість	Тривалість сегмента процесу, якщо відома.	25
Одиниці виміру тривалості	Одиниці вимірювання тривалості, якщо вона означена.	Хвилини

Щодо специфікації розглянемо приклад на специфікації сегменту устаткування, який означає ресурси устаткування, необхідні для сегменту процесу.

Таблиця 2.2. Атрибути специфікації сегмента устаткування

Атрибут	Опис	Приклад з основного виробництва
Клас устаткування	Ідентифікує відповідний клас устаткування або набір класів можливостей устаткування.	(не застосовується)
Устаткування	Ідентифікує пов'язане устаткування або набір можливостей устаткування .	Фрезерний верстат 001
Опис	Містить додаткову інформацію та описи.	Устаткування, необхідне для сегменту процесу фрезерування
Використання устаткування	Означає очікуване використання класу устаткування або устаткування в контексті сегменту процесу.	Фрезерування деталей
Кількість	Вказує кількість необхідних ресурсів, якщо це застосовно.	1,3

Атрибут	Опис	Приклад з основного виробництва
Одиниця вимірювання кількості	Одиниця вимірювання відповідної кількості, якщо застосовно.	Машино-годин / шт

* Зазвичай означається або клас устаткування або устаткування.

Конкретні властивості, необхідні для специфікацій сегмента устаткування, мають бути представлені як показано в табл.2.3. Ці властивості у свою чергу можуть складатися з інших властивостей.

Таблиця 2.3. Атрибути властивості специфікації сегмента устаткування

Атрибут	Опис	Приклад з основного виробництва
ID	Ідентифікація властивості пов'язаного устаткування або класу устаткування.	Напрямок фрезерування
Опис	Містить додаткову інформацію та описи.	Для фрезерування заготовок підходять тільки вертикальні фрезерні верстати.
Значення	Значення, набір значень або діапазон властивості. Наприклад: Вертикально, Горизонтально	Вертикальний
Одиниця вимірювання значення	Одиниця вимірювання значення пов'язаної властивості, якщо застосовно.	(не застосовно)
Кількість	Вказує кількість необхідних ресурсів.	1,0
Одиниця вимірювання кількості	Одиниця вимірювання відповідної кількості, якщо застосовно.	Машино-годин / шт

Конкретні параметри, необхідні для сегменту процесу, повинні бути представлені як наведено в таблиці 2.4. Параметри сегмента процесу можуть містити вкладені параметри сегмента процесу.

Таблиця 2.4. Атрибути параметра сегмента процесу

Атрибут	Опис	Приклад з основного виробництва
ID	Ідентифікатор параметра сегмента процесу	Час фрезерування
Опис	Містить додаткову інформацію.	Діапазон допустимого часу фрезерування
Значення	Значення, набір значень або діапазон прийнятних значень	{5..10}
Одиниця вимірювання значення	Одиниця вимірювання значень, якщо застосовно.	Хвилини

Як вже зазначалося вище залежності процесу, які не залежать від будь-якого конкретного продукту чи операційного завдання, повинні бути представлені як залежності сегменту процесу (див.рис.2.13). У таблиці 2.5 означені атрибути для об'єктів залежності сегмента процесу.

Таблиця 2.5. Атрибути залежності сегмента процесу

Атрибут	Опис	Приклад з основного виробництва
ID	Ідентифікатор унікального екземпляра залежності сегменту процесу.	PSD001
Опис	Містить додаткову інформацію та опис означення залежності сегменту процесу.	Означує впорядкування процесів складання в сегменті процесу складання деталей
Тип залежності	Означує обмеження в залежності виконання одного сегмента іншим сегментом	Почати Очищення не раніше, ніж Т (Часовий фактор) після завершення Роботи
Фактор залежності	Фактор, який використовує залежність	25
Одиниця вимірювання	Одиниці вимірювання коефіцієнта залежності, якщо означено.	Хвилини

Таким чином, згідно стандартів ISA-95/IEC 62264 обмін між інформаційними системами, наприклад L4 та L3 що показаний на рис.2.4 так чи інакше буде представлений через певні моделі у вигляді UML-схем, таблиць та зрештою здебільшого реалізований у вигляді документів XML, якщо використовується B2MML (рис.2.14).

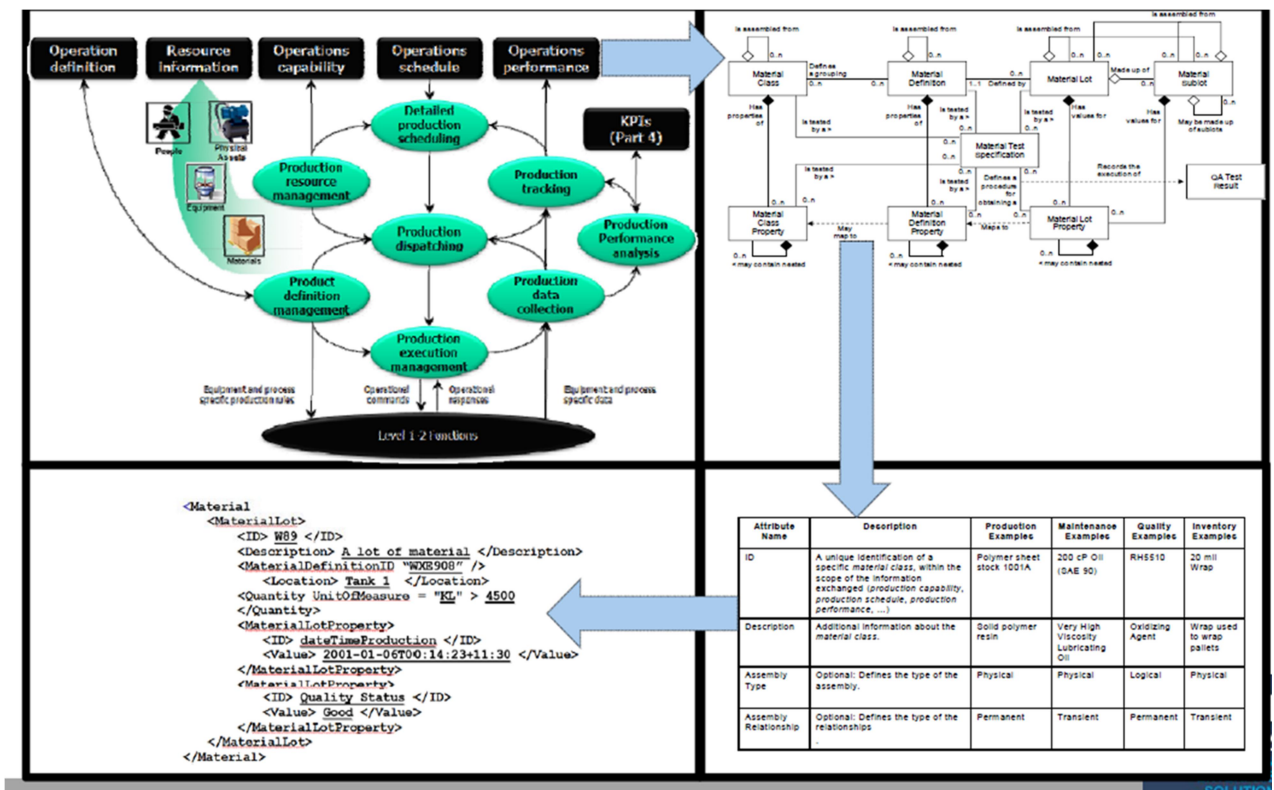


Рисунок 2.14 – Різні форми представлення моделей [15]

Контрольні питання

1. Розкажіть про місце різних стандартів інтегрування у ієрархічній моделі керування промисловим підприємством.
2. Розкажіть про розділення між типами виробничих процесів в стандартах інтегрування.
3. Розкажіть про основну ідею, яка лежить в стандартах інтегрування. Поясніть, що в термінах цих стандартів значить слово "модель".
4. Розкажіть про функціональну модель керування виробничим підприємством в стандартах ISA-95/IEC-62264.
5. Назвіть категорії операцій, які виділені в стандартах ISA-95/IEC-62264 та розкажіть про їх призначення.
6. Розкажіть про обмін між рівнями керування на прикладі категорії керування операціями основного виробництва.

7. Які виробничі ресурси представлені в стандартах ISA-95/IEC-62264? Для чого вони використовуються?
8. Розкажіть про моделі устаткування та активів. Чим вони відрізняються?
9. Розкажіть про ієрархію устаткування.
10. Розкажіть про модель матеріалів.
11. Розкажіть про модель персоналу.
12. Розкажіть про призначення сегментів процесу.
13. Розкажіть про способи представлення моделей в стандартах на прикладі моделі сегменту процесу.

3. Функціональна та технічна структура MOM

3.1. Функціональна структура MOM

У попередній лекції була наведена функціональна модель керування виробничим підприємством, де частина функцій відноситься до рівня MOM та групуються принаймні в чотири категорії операцій (див.рис.2.3):

- операції по виготовленню продукції (Production), основне виробництво;
- операції керування запасами (Inventory);
- операції по контролю якості (Quality);
- операції по технічному обслуговуванню (Maintenance);
- інші операції.

Це розділення має кілька причин. По-перше, цими операціями як правило займаються різні служби на підприємстві, які мають свою внутрішню організацію, планування робіт, звітність і т.д. Тобто робота цих служб відбувається паралельно, але процеси звісно перетинаються, як це було показано в першій лекції.

По-друге, якщо процеси цих служб автоматизовані, то це нерідко відбувається через різні інформаційні системи, які традиційно зайняли певну нішу. Наприклад:

- основне виробництво (Production) - MES,
- операції керування запасами (Inventory) - WMS
- операції по контролю якості (Quality) - LIMS, QMS
- операції по технічному обслуговуванню (Maintenance) - EAM, TOiP (технологічне обслуговування і ремонт)

По-третє, як буде зазначено нижче, активності в межах цих категорій мають одну і ту саму природу. Наприклад операції в усіх категоріях передбачають планування, диспетчеризацію робіт та виконання робіт.

На конкретному виробничому підприємстві може бути по різному представлена реалізація кожної з категорій, наприклад:

- всі або кілька категорій операцій рівня L3 реалізовані в одній інформаційній системі
- кожна окрема категорія L3 представлена своєю інформаційною системою (як зазначено вище) або кількома
- частина функцій L3 реалізовані інформаційними системами рівня L4, частина системами керування L2
- змішана система

Стандарти ISA-95/IEC-62264 не ставить вимог щодо структури реалізації рівня L3 або інших рівнів керування. Навпаки, він призначений для спрощення інтегрування всіх

інформаційних систем, але передбачає, що це інтегрування відбувається через моделі сутностей, які означені в стандарті. Таким чином усі ці системи будуть спілкуватися однією мовою в термінах цих моделей. Тому, навіть якщо певна інформаційна система виконує автоматизацію функцій з кількох категорій операцій, а автоматизація частини інших функцій реалізована в іншій інформаційній системі, то стандарт полегшує їх взаємодію.

Якщо інформаційна система може виконувати кілька функцій, нерідко вона будується за модульним принципом. Модульний принцип дає можливість вибрати для виконання конкретних завдань конкретний набір модулів. Тому для конкретного проекту може використовуватися тільки потрібний в даний момент функціонал, а впровадження системи стає простіше. Крім того модулі можуть виконуватися на різних обчислювальних ресурсах, таким чином надавати можливість оптимізувати використання ресурсів в залежності від потреб.

Розглянемо це на прикладі MOM системи Momentum від BrightEye [16]. У ній повністю реалізовані усі функції керування основним виробництвом і це є частиною базового набору модулів. Функції керування виробничими запасами реалізуються через модуль окремий модуль WMS, керування операціями по контролю якості - модулем Quality Management. При цьому в Momentum наразі не реалізований модель керування операціями технічного обслуговування.

3.2. Технічна структура MOM

Інформаційні системи рівня MOM можуть бути реалізовані за дуже різним принципом. У цьому розділі наводяться тільки приклади. У будь якому випадку варто виділити основні компоненти, які так чи інакше мають бути представлені в реалізації:

- Виконавчі служби інформаційної системи. Це певний набір програм, які виконують покладені на них функції. Саме вони реалізують активності, які будуть наведені в наступних лекціях. Якщо ці служби потребують значних ресурсів або мають інтегруватися з зовнішніми службами, то вони можуть бути реалізовані як окремі процеси, що надають доступ до своїх функцій через API (Application Program Interface). У такому випадку служби можуть взаємодіяти між собою, з клієнтськими застосунками або з сторонніми службами навіть якщо вони запущені на іншому пристрої.
- Клієнтські застосунки. Це певний набір програм, які забезпечують людино-машинний інтерфейс взаємодії з системою користувача. До користувачів системи можуть відноситися будь-який виробничий персонал, тому вимоги до клієнтських застосунків можуть бути дуже різними. Враховуючи це, може надаватися кілька варіантів застосунків а також Веб-інтерфейс до Веб-серверу.

- Веб-сервер. Для роботи з Веб-клієнтами (браузерами) може бути виділено окрему службу - веб-сервер, який у свою чергу взаємодіє з іншими службами для надання доступу користувачів до необхідних функцій.
- База даних з конфігураційними даними. Тут зберігається інформація про конфігурацію системи. Якщо виконавчі служби є умовно незмінною частиною інформаційної системи, які розробляються програмістами постачальника цієї системи, то база даних наповнюється конфігурацією для конкретного об'єкта. Наприклад це означення ресурсів (устаткування, персоналу, сегментів процесу) або означення продукту. Внесення змін в конфігурацію відбувається тоді, коли змінюється означення певного ресурсу або активності.
- База даних з операційними даними. На відміну від бази конфігураційних даних тут зберігається вся інформація, що стосується роботи служб, наприклад переміщення сировини, реєстрація плинних значень параметрів, повідомлення, тощо.
- Мережні служби для роботи з периферією. Це можуть бути окремо виділені служби для взаємодії із зовнішніми пристроями.
- Служби скриптів. Це служби та файли для виконання користувацьких скриптів.

Розглянемо технічну структуру на прикладі MOM системи Momentum від BrightEye [16].

Вона базується на клієнт-серверній структурі, де є кілька служб-серверів, що відповідають за різні функції (рис.3.1):

- DataCenter - взаємодія з пристроями рівня АСКТП (ПЛК, SCADA, тощо)
- MES - реалізовує основні функції керування виробничими операціями;
- WMS - реалізовує функції модуля керування запасами;
- LMS (Labeling Management Server) - реалізовує функції генерування та друкування етикеток;
- DMS (Data Mining Server) - реалізовує функції збереження даних;

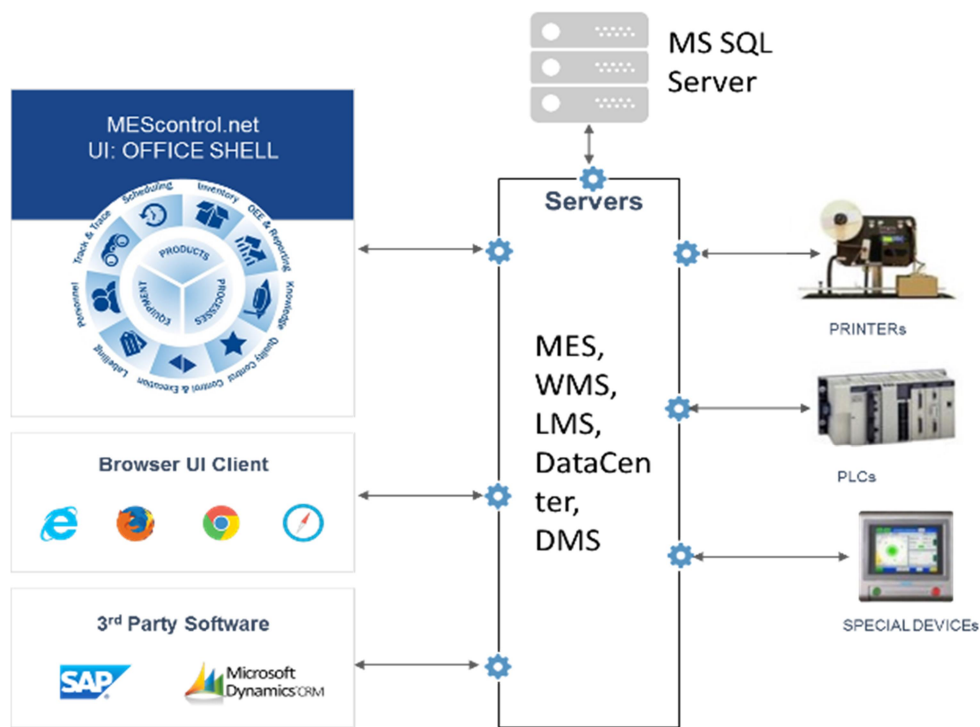


Рисунок 3.1 – Технічна структура MOM на прикладі Momentum [16]

Сервери взаємодіють з іншими підсистемами, наприклад DataCenter обмінюється даними реального часу з ПЛК через різноманітні драйвери (як правило OPC та OPC UA), LMS з принтерами етикеток, DMS з системою керування базами даних (СКБД). Уся конфігураційна та плинна інформація зберігається в базах даних на MS SQL Server.

Клієнтські застосунки взаємодіють з серверами для конфігурування та керування. Основним клієнтським застосунком є Shell, який надає можливість як конфігурувати систему так і проводити операційну діяльність. Також є можливість підключення через "тонкі" Веб-клієнти для виконання певних функцій. До серверів також можуть доступатися системи рівня ERP, наприклад SAP.

3.3. Використання OPC для підключення даних

Про OPC

Нині OPC є найпоширенішими стандартами по інтегрування застосунків в області промислової автоматизації. Своє найбільше використання він знайшов в інтегруванні між собою SCADA/HMI-програм та засобів автоматизації рівня L1. Однак сьогодні нова версія OPC UA все частіше використовується для інтегрування будь яких засобів в промисловій автоматизації.

Розглянемо OPC в історичному контексті його використання в SCADA. При інтеграції продуктів одного виробника наявність в SCADA-програмі драйверів зв'язку з необхідними

контролерами є очевидною. Складнішим є випадок, коли необхідно інтегрувати засоби від декількох виробників, ряд з яких підтримують закриті протоколи. У цій ситуації важко підібрати таку SCADA-програму, яка підтримувала б усі необхідні протоколи промислових мереж. Для подолання цієї проблеми кілька великих компаній вирішила створити стандартний інтерфейс доступу до даних "драйвера" зі сторони програмного забезпечення верхнього рівня. Таким чином, будь-який драйвер зі стандартним інтерфейсом може бути використаний будь-якою SCADA-програмою, яка цей інтерфейс підтримує. Технологія отримала назву **OPC**.

Першу версію стандарту OPC (OPC DA 1.0) розробила група компаній, які в 1996 р. організували некомерційну організацію **OPC Foundation** (www.opcfoundation.org), що займається розвитком та просуванням цієї технології на ринку. Стандарти OPC Foundation існують у наборі декількох специфікацій. Серед них найбільшу популярність на сьогоднішній день мають OPC DA, які стандартизують доступ однієї програми до даних реального часу іншої програми, та OPC UA, які стандартизують доступ до даних і сервісів різного призначення.

Специфікації **OPC DA** (OPC Data Access) ґрунтуються на технологіях, що можуть застосовуватися тільки на програмних платформах Windows і мають ряд суттєвих обмежень. Аббревіатура OPC на момент створення стандартів розшифровувалася як "OLE for Process Control", що означало використання стандартів OLE (Object Linking and Embedding), яка, по суті, представляла COM (Component Object Model), для керування технологічними процесами. Тепер використання технологій COM не рекомендується, особливо для розподілених застосунків, тому технологія OPC DA, очевидно, з часом не буде використовуватися. Тим не менше, зараз вона досить популярна.

Специфікації **OPC UA** (OPC Unified Architecture) є більш сучасними. Вони ґрунтуються на обміні різноманітними даними (реального часу, історичними, тривогами), використовуючи відкриті WEB-технології. Відхід від технологій COM відобразився і в аббревіатурі, яка звучить як "Open Platform Communications". Технологія OPC UA є більш універсальною і може бути використана для взаємодії між програмними елементами, які виконуються на різних платформах. Крім того, специфікації OPC UA стандартизовані в ІЕС 62541.

Слід сказати, що, крім OPC DA, старі специфікації OPC (що ґрунтуються на технології COM) включали ряд інших:

- OPC DA 1.0, 2.0, 3.0 (Data Access) – три версії специфікацій доступу до даних реального часу;
- OPC AE (Alarms & Events) – для реалізації завдань тривожної сигналізації та подій;
- OPC HDA (Historical Data Access) – для реалізації завдань ведення архіву та доступу до архівних даних;
- OPC DX (Data eXchange) – для безпосереднього обміну між OPC-серверами;

- OPC XML – для обміну даними через пов'язані мережі за допомогою структур XML на базі WEB-сервісів та SOAP;
- OPC Batch – для реалізації керування рецептурними завданнями.

OPC DA

У загальному випадку, технологія OPC забезпечує одній програмі (OPC-клієнту) доступ до даних процесу іншої програми (OPC-сервера) через стандартний набір інтерфейсів. Найбільш часто OPC-технологія використовується як універсальний інтерфейс до драйверів контролерів та периферійних пристроїв. Тобто разом з контролером, або за окремим замовленням, може поставлятися спеціальна програма - OPC-сервер, яка надає стандартизований доступ до змінних цього типу контролеру. Тобто OPC-сервер, з одного боку, має драйвери для зв'язку з контролерами за конкретними протоколами промислових мереж, а з іншого – надає універсальний OPC-інтерфейс для зв'язку із сервером SCADA-програми або іншим застосунком, у тому числі рівня MOM. У такій системі SCADA-програма (або MES/MOM система) буде OPC-клієнтом.

На рис.3.2 показано спрощену схему функціонування роботи OPC-технології в контексті описаної системи.

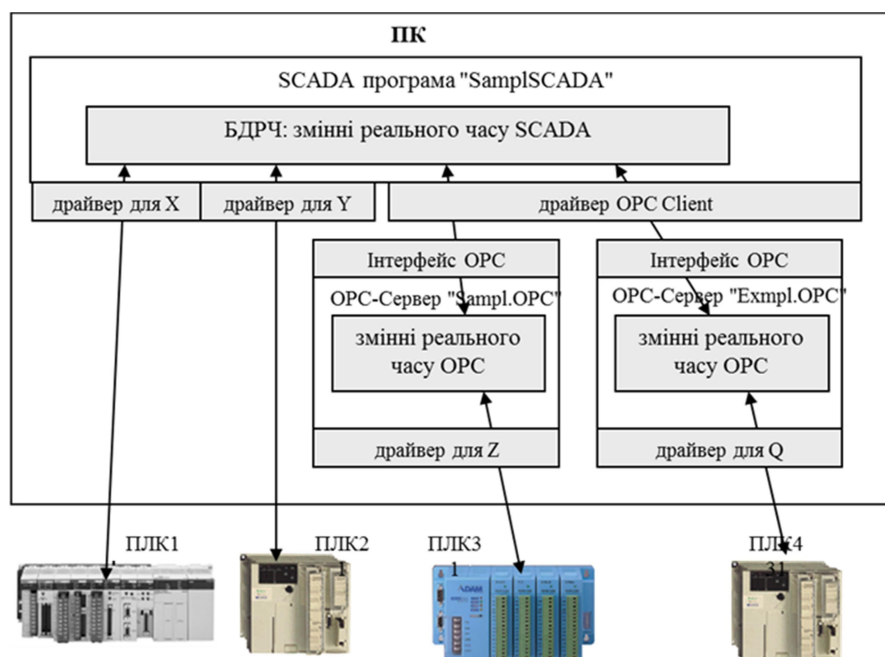


Рисунок 3.2 – Функціонування OPC з точки зору інтегратора [17]

База даних реального часу SCADA-програми (з умовною назвою "SamplSCADA") збирає дані з чотирьох джерел: ПЛК1, ПЛК2, ПЛК3 та ПЛК4. Для перших двох контролерів для збирання даних використовуються драйвери зв'язку для цих ПЛК, вірніше – для протоколів промислових

мереж, по яких вони з'єднуються. Дані зчитуються (або записуються) з ПЛК в БДРЧ. Зв'язок з ПЛК3 та ПЛК4 виконується через OPC-сервери з умовними назвами відповідно "Sampl.OPC" та "Exmpl.OPC" з використанням драйвера OPC-клієнт. Тобто OPC-сервери через вбудовані драйвери зчитують дані з ПЛК та зберігають їх у своїй базі даних реального часу. SCADA-програма, в свою чергу, зчитує дані з OPC-серверів. Запис даних відбувається аналогічно.

Таким чином, для реалізації такого зв'язку в SCADA-програмі користувач повинен:

1. Налаштувати OPC-сервер за допомогою спеціалізованої програми-конфігуратора, що поставляється разом з ним: створити всі необхідні змінні серверу, тобто дати їм ім'я (ItemID) та вказати джерела даних в ПЛК, на які вони посилаються.
2. У SCADA-програмі (або MOM) вказати:
 - назву OPC-сервера, з яким необхідно зв'язатися (ProgID); у наведеному прикладі це будуть два сервери – "Sampl.OPC" та "Exmpl.OPC"; інколи SCADA надає можливість вибору ProgID зі списку зареєстрованих OPC-серверів;
 - для вибраної змінної в якості джерела даних вказати ім'я на OPC-сервері, тобто ItemID, що був створений на 1-му кроці; як правило ItemID вибирається зі списку, який надає Browser на стороні OPC-клієнта.

Технологія OPC DA ґрунтується на клієнт-серверній архітектурі. OPC-клієнт користується послугами OPC-сервера, використовуючи COM-інтерфейси його об'єктів. У наведеному на рис. 3.3 прикладі *OPC-клієнтом* є SCADA-програма, завданням якої є відображення чотирьох змінних (%MW100-%MW103), які знаходяться на ПЛК. OPC-сервер отримує необхідні дані через драйвери зв'язку і зберігає їх у своїй базі даних реального часу. Для того щоб досягти до даних OPC-сервера, OPC-клієнт створює для себе OPC-Group (Group1, Group2), в яких створює OPC Item (Item1, Item2), що посилаються на ці дані.

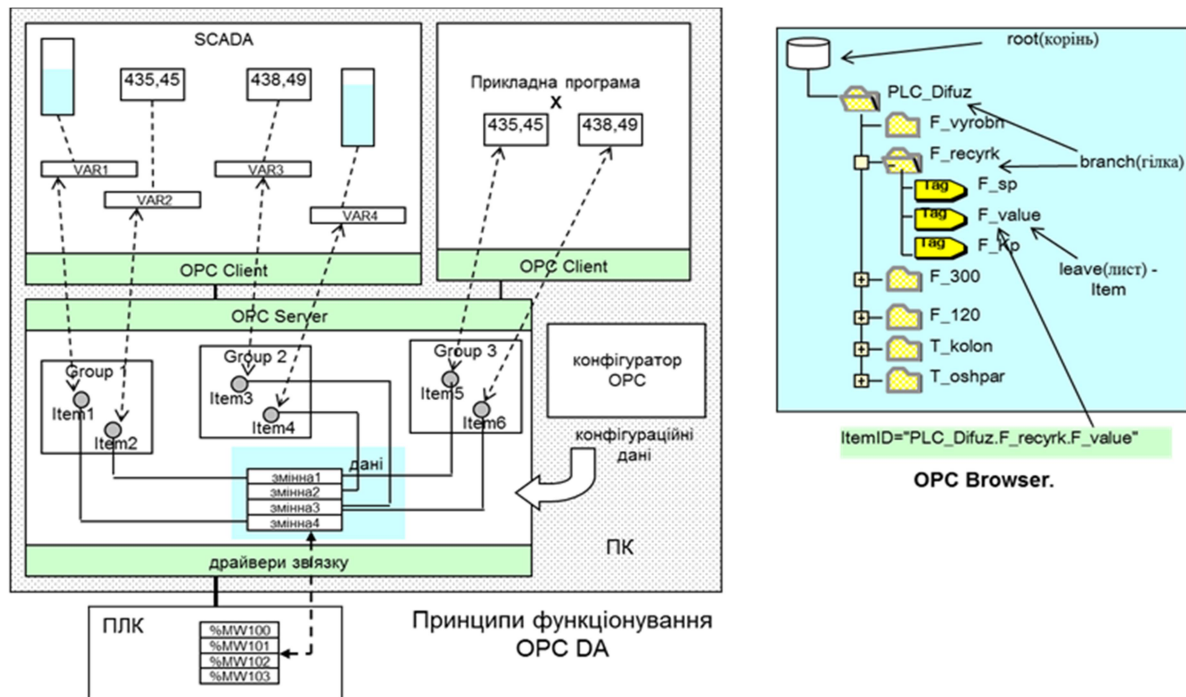


Рисунок 3.3 – Модель сервера та адресний простір OPC DA [17]

OPC-клієнт (OPC Client) – прикладна програма, яка вміє користуватися об'єктами OPC-сервера за допомогою OPC-інтерфейсів (підмножина COM-інтерфейсів). **OPC-сервер (OPC Server)** – прикладна програма, яка надає доступ до визначених у специфікації OPC COM-об'єктів за допомогою OPC-інтерфейсів.

З одним OPC-сервером можуть з'єднатися декілька OPC-клієнтів. З іншого боку, одна й та сама програма OPC-клієнт може одночасно користуватися послугами декількох OPC-серверів. Тобто технологія OPC є мультиклієнтною і мультисерверною.

Оскільки OPC-сервер – це COM-сервер, він реєструється на комп'ютері унікальним числовим ідентифікатором (GUID) та має строковий програмний ідентифікатор (**ProgID**). Тобто для того щоб для OPC-клієнта означити, з яким OPC-сервером на тому самому ПК йому необхідно з'єднатися, достатньо вказати його ProgID.

Об'єкт **OPC-Item** надає доступ до джерела даних (надалі – *мег*) в межах OPC-сервера, яке ідентифікується унікальним у межах сервера ідентифікатором **ItemID**. Тому при створенні OPC-Item'a вказується ItemID необхідного тега. Правила ідентифікації даних залежать від реалізації OPC-сервера, а механізм означення їх джерел (наприклад, адреса пристрою та змінної в ПЛК) найчастіше реалізується в конфігураторі цього сервера.

Увесь список ItemID може мати плоску або деревовидну ієрархічну структуру, завдяки чому зручніше використовувати цей механізм у проектах з великою кількістю даних. Для навігації по списку/дереву ідентифікаторів OPC-сервер, як правило, має об'єкт **OPC Browser**.

OPC-Item належить клієнту, який його створив, і тому його не можуть використовувати декілька клієнтів. Тим не менше, є можливість посилатися на одні й ті самі дані. На рис.7.2 два клієнти одночасно використовують дані з %MW100 та %MW102, однак створюють для цього різні OPC-Item. Джерелом даних не обов'язково є змінна на зовнішньому пристрої, це можуть бути внутрішні дані самого сервера.

З кожним OPC-Item'ом асоціюється плинне значення (*Value*), відмітка часу (*Time Stamp*) та якість (*Quality*). Таким чином, OPC-сервер не тільки повідомляє про значення змінної, а й указує на їхню свіжість та достовірність.

OPC-Group – об'єкт OPC-сервера, який призначений для виконання групових операцій над OPC-Item'ами. Оскільки OPC-Item не може існувати без цього об'єкта, спочатку OPC-клієнт створює OPC-Group, а потім у його межах створює OPC-Item'и.

В інтерфейсі OPC DA 2.0 кожний OPC-Group, як і все його наповнення, належить окремому OPC-клієнту. Механізм групування дає змогу розділяти дані за принципом читання/записування, періодичністю операцій та активувати/деактивувати відновлення змінних.

Робота з сервером OPC DA в мережі

OPC-клієнт та OPC-сервер на одному й тому самому ПК запускаються як окремі процеси. Обмін даними між цими процесами відбувається за правилами СОМ-технології. У мережних архітектурах може виникати необхідність з'єднати OPC-клієнта з віддаленим OPC-сервером, який знаходиться в мережі на іншому ПК. Для такого з'єднання використовуються сервіси DCOM.

На рис. 3.4 наведено приклад, у якому OPC-клієнт (MES/MOM) на ПК1 з'єднується з локальним OPC-сервером (OPCServer1) та двома віддаленими (OPCServer2 на ПК2 та OPCServer3 на ПК3). Для реалізації такого з'єднання для OPC-клієнта, окрім ProgID, необхідно вказати розміщення ПК з OPC-сервером, а також правильно налаштувати DCOM-конфігуратор. Таким чином, необхідно виконати таку послідовність:

1. налаштувати DCOM Конфігуратор на вузлі сервера та клієнта;
2. вказати Server Node (Ім'я вузла з OPC-сервером) або його IP;
3. вказати ProgID сервера.

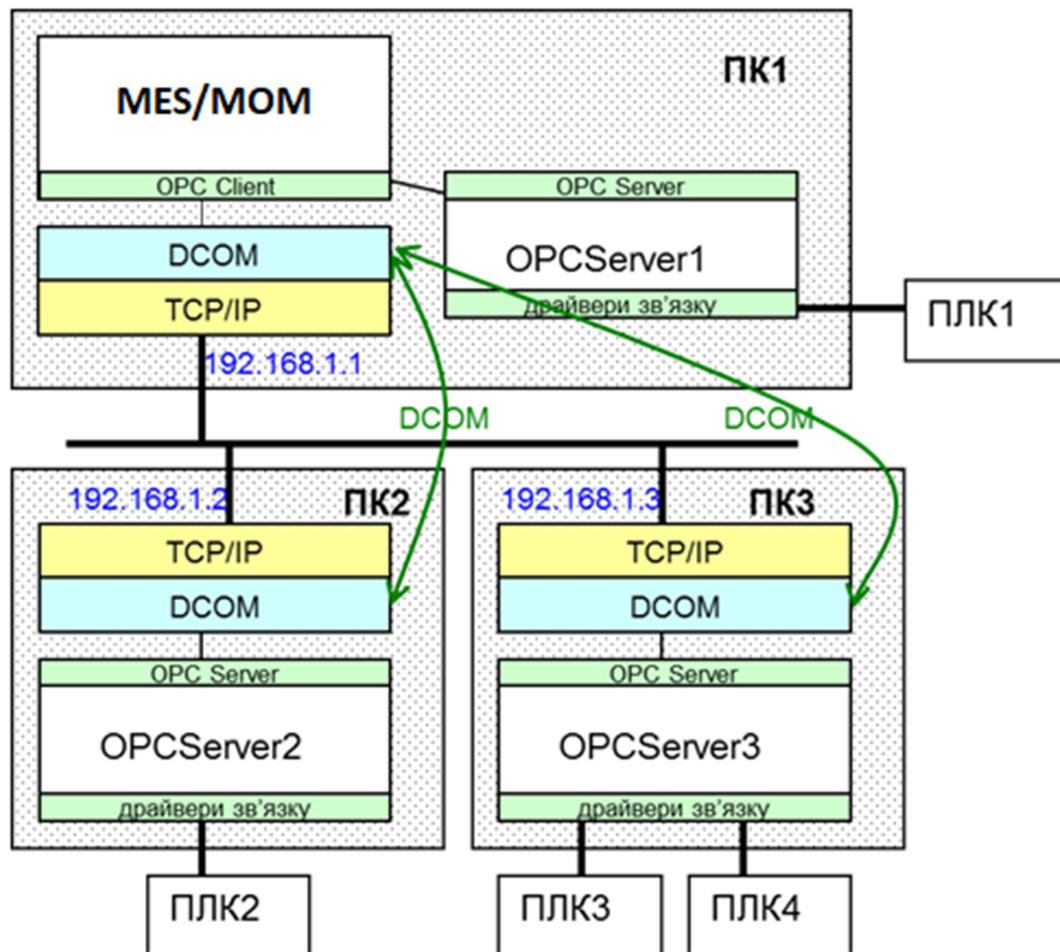


Рисунок 3.4 – Робота з віддаленим сервером OPC [17]

Однак зв'язатися з віддаленим OPC за допомогою OPC DA можливо тільки у випадку, якщо вузли знаходяться в межах одного домену або робочої групи Windows та не розмежовуються брандмауерами. Останні можуть не пропустити пакети COM (порти RPC, як правило, закриті для доступу), тому для з'єднання через Інтернет необхідно вдаватися до певних прийомів. Щоб вирішити цю проблему, OPC Foundation пропонує технології OPC XML та OPC UA.

У прикладах, наведених вище, розглянуто технологію OPC-DA в контексті вирішення проблеми доступу до даних ПЛК зі SCADA або системи MOM. Тобто OPC-сервер розглядався як стандартний драйвер зв'язку. На рис. 3.5 показано приклад використання інтерфейсів OPC як „мосту” між двома прикладними програмами на різних ПК. При горизонтальній інтеграції може знадобитися об'єднання в єдиний інформаційний простір SCADA-програм. При вертикальній інтеграції існування в SCADA серверного інтерфейсу OPC дає можливість доступитись до її даних зі сторони прикладних програм рівня MES/MOM чи ERP. Офісні програми завдяки наявності VBA та ActiveX теж надають таку можливість. Наявність в SCADA OPC UA сервера збільшує можливості інтеграції. У OPC UA розроблено шлях міграції для клієнтів і серверів OPC,

що базуються на технології Microsoft COM (наприклад OPC DA). При розробленні OPC UA було зроблено певні кроки для того, щоб існуючі дані, які виставлялися на серверах OPC COM (DA, HDA та A&E), могли бути легко відображені та розкриті через OPC UA. Постачальники можуть вибирати міграцію своїх продуктів на OPC UA або використовувати обгортки для перетворення з OPC COM в OPC UA, і навпаки. Кожна з попередніх специфікацій OPC визначила власну модель адресного простору та власний набір послуг. OPC UA об'єднує попередні моделі в єдиний інтегрований адресний простір з єдиним набором сервісів.

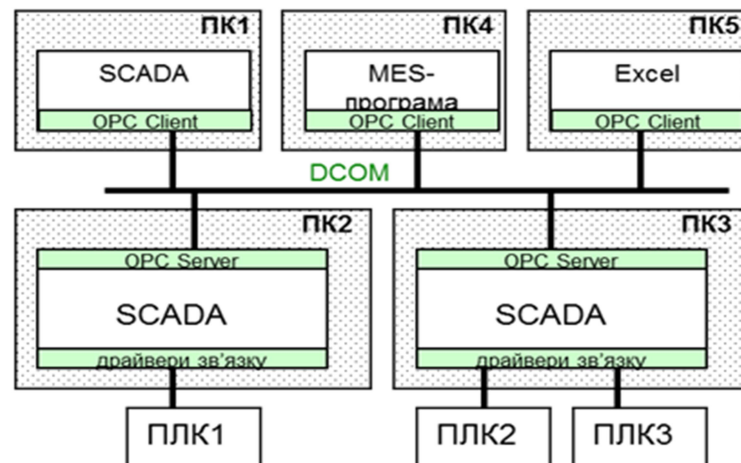


Рисунок 3.5 – Приклад використання OPC як "мосту" [17]

OPC UA

OPC UA (OPC Unified Architecture) - це незалежний від платформи стандарт, який дозволяє обмінюватися виробничими даними між різними типами застосунків та користуватися їх сервісами. Принциповою відмінністю в OPC UA від своїх попередників є використання іншого стеку протоколів, що дало можливість [17,18]:

- відв'язатися від залежності MS Windows;
- реалізовувати застосунки на різних типах пристроїв, а не тільки ПК;
- реалізовувати зв'язок на різних типах мереж в т.ч. через Інтернет;
- будувати захищені з'єднання між застосунками;
- використовувати механізми обміну шляхом публікацій і підписки;

OPC UA може функціонувати з використанням різних комунікаційних протоколів, при цьому дані можуть бути закодовані різними способами (рис.3.6). Означено кілька протоколів, які можна використовувати:

- OPC UA TCP

- HTTPS
- WebSockets

Визначено три способи кодування даних: XML/text, UA Binary, JSON

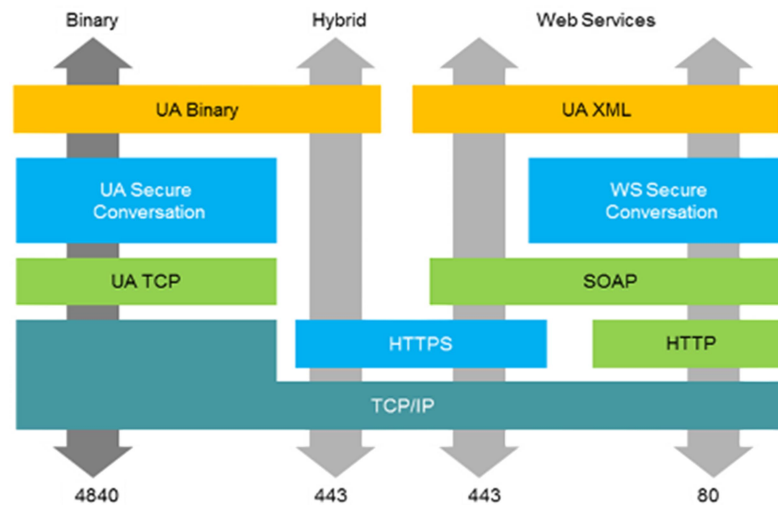


Рисунок 3.6 – Комунікаційна архітектура OPC UA [18]

OPC UA так само як OPC DA має клієнт-серверну модель функціонування, в якій Сервери можуть надавати різні набори *Сервісів (Services)*. Під час підключення Сервер повідомляє клієнту, які з сервісів він підтримує. Обмін інформацією відбувається з використанням типів даних, означених як в стандартах OPC UA, так і постачальниками.

Об'єкти та вузли OPC UA

Всі дані і сервіси доступні через *об'єкти*, які надаються клієнтському застосунку через взаємопов'язану об'єктну модель. Сервери означають об'єктні моделі, які Клієнти можуть динамічно переглянути. Через ці об'єкти Сервери можуть надати доступ як до даних реального часу, так і до історичних (Historical), Тривоги(Alarms) і Подій(Events).

Кожен об'єкт може надавати доступ до читання/запису його змінних, або до виклику методів (рис.3.7). Користувачам OPC UA не обов'язково використовувати об'єктно-орієнтовані підходи, що передбачають використання методів та подій. Як і у класичному OPC Data Access може бути побудована проста модель адресного простору, в якій використовуються об'єкти-папки та змінні. Тим не менше, наявність розширених об'єктно-орієнтованих функцій значно полегшує представлення об'єктно-орієнтованих систем за допомогою OPC UA

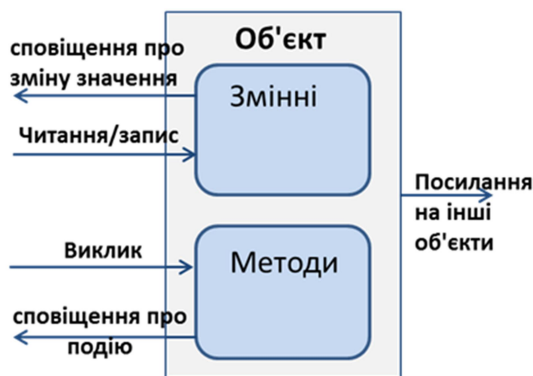


Рисунок 3.7 – Об'єктна модель OPC UA

Об'єкти можуть посилатися на інші об'єкти через різний тип зав'язків. Взаємозв'язані об'єкти серверу доступні клієнтам через механізм організації у вигляді *адресного простору OPC UA (Address Space)*. Усі об'єкти в адресному просторі знаходяться у певній взаємозалежності, що представляється через об'єктну модель OPC UA. Для визначення взаємозв'язків між об'єктами та їх складових може використовуватися Сервіс перегляду. Елементи об'єктної моделі (об'єкти та їх складові) представлені в адресному просторі як *Вузли (Node)*. Кожен вузол представляє певний клас вузлів (тип елементів об'єктної моделі), такий як об'єкт, змінна (Змінна Даних або Властивість) або Метод і т.п. (див. рис. 3.8).

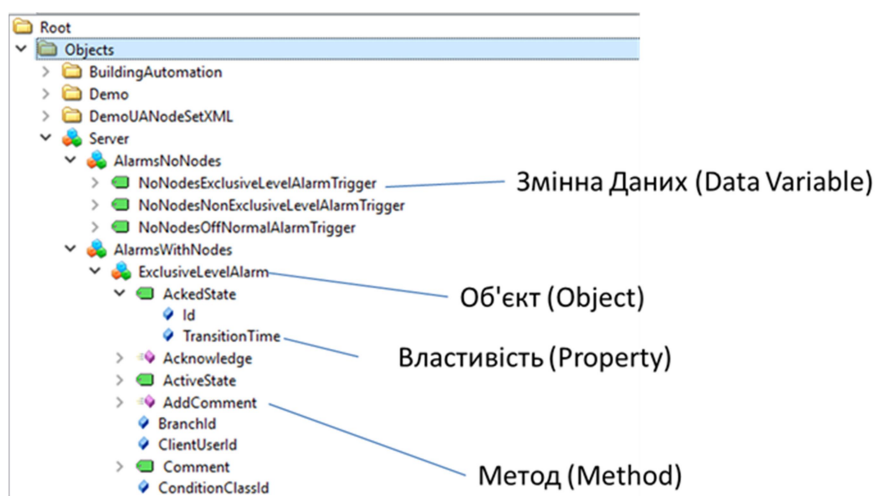


Рисунок 3.8 – Приклад перегляду адресного простору серверу OPC UA

Класи вузлів (Node Classes) означають набір атрибутів та типів посилань для різних вузлів. OPC UA описує вісім класів вузлів (див. рис.3.9):

- Object (Об'єкт) - використовується для представлення системних об'єктів, складових системи, об'єктів реального світу та програмних об'єктів (аналогія екземплярів в ООП);
- Variable (Змінна) - використовуються для представлення значень (вмісту) об'єкта

- Method (Метод) - використовується для представлення методу в адресному просторі сервера;
- View (Представлення) - використовується для обмеження кількості видимих вузлів і посилань у великому адресному просторі;
- ObjectType (Тип Об'єкту) - використовується для представлення у просторі типів об'єктів на які посилаються вузли-об'єкти (аналогія класів в ООП);
- VariableType (Тип Змінної) – використовуються для означення Властивостей, доступних для екземпляра Змінної;
- ReferenceType (Тип Посилання) - використовується для представлення типу посилання, що використовуються сервером;
- DataType (Тип Даних).

Кожен вузол адресного простору є екземпляром одного з цих класів вузлів. Клієнтам і серверам не дозволяється означувати додаткові класи вузлів або розширювати означення цих класів (наприклад, список атрибутів для класу).

Вузли описуються атрибутами (attributes) і взаємопов'язані посиланнями (references) (див. рис.3.9).

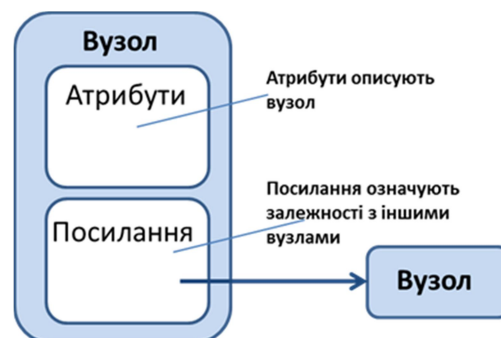


Рисунок 3.9 – Вузли і Посилання

Атрибути (Attributes) – це елементарні дані, що описують вузол. Клієнти можуть отримувати доступ до значень атрибутів за допомогою сервісів Читання(Read), Запису(Write), Запиту(Query) та Підписки/Контролю елементу (Subscription/Monitored Item). Атрибути є елементарними складовими класів вузлів, перелік і призначення яких описані в стандарті, тому заздалегідь відомі клієнтам і не є безпосередньо видимими в адресному просторі. Набір атрибутів, означених для кожного класу вузлів, не може бути розширений клієнтами або серверами. Кожне означення атрибуту складається з ідентифікатора атрибута (attribute id), імені(name), опису(description), типу даних (data type) і обов'язкового/необов'язкового індикатора (indicator). На рис.3.10 показаний набір атрибутів (Назва та значення) для вузла класу Variable

Attributes	
Attribute	Value
▼ NodeId	ns=3;s=AirConditioner_9.Temperature
NamespaceIndex	3
IdentifierType	String
Identifier	AirConditioner_9.Temperature
NodeClass	Variable
BrowseName	3, "Temperature"
DisplayName	""; "Temperature"
Description	""; ""
WriteMask	0
UserWriteMask	0
RolePermissions	BadAttributeIdInvalid (0x80350000)
UserRolePermissions	BadAttributeIdInvalid (0x80350000)
AccessRestrictions	BadAttributeIdInvalid (0x80350000)
▼ Value	
SourceTimestamp	23.03.2019 9:00:00.894
SourcePicoseconds	0
ServerTimestamp	23.03.2019 9:00:00.894
ServerPicoseconds	0
StatusCode	Good (0x00000000)
Value	71.5836000001
▼ DataType	Double
NamespaceIndex	0
IdentifierType	Numeric
Identifier	11 [Double]
ValueRank	-1 (Scalar)
ArrayDimensions	BadAttributeIdInvalid (0x80350000)
AccessLevel	CurrentRead, HistoryRead
UserAccessLevel	CurrentRead, HistoryRead

Рисунок 3.10 – Приклад набору атрибутів для вузла класу Variable

Посилання (References) використовуються для зв'язку вузлів між собою. Їх можна отримати за допомогою сервісів перегляду (browsing) та запиту (querying). Подібно атрибутам, вони означаються як фундаментальні складові вузлів. На відміну від атрибутів, посилання означаються як екземпляри вузлів класу ReferenceType, які видимі в адресному просторі. Вузол, що містить посилання, називається **вихідним вузлом (source node)**, а вузол, на який посилається, називається **цільовим вузлом (target node)**. Для унікальної ідентифікації посилань в сервісах OPC UA використовується комбінація вихідного і цільового вузлів ReferenceType. Таким чином, кожен вузол може посилатися на інший вузол з тією самою ReferenceType тільки один раз. На рис.3.11 показаний приклад посилання. Цільовий вузол може знаходитися в тому ж адресному просторі або в адресному просторі іншого OPC UA сервера. Цільові вузли, розташовані на інших серверах, ідентифікуються в сервісах OPC UA з використанням комбінації імені віддаленого сервера та ідентифікатора Вузла.

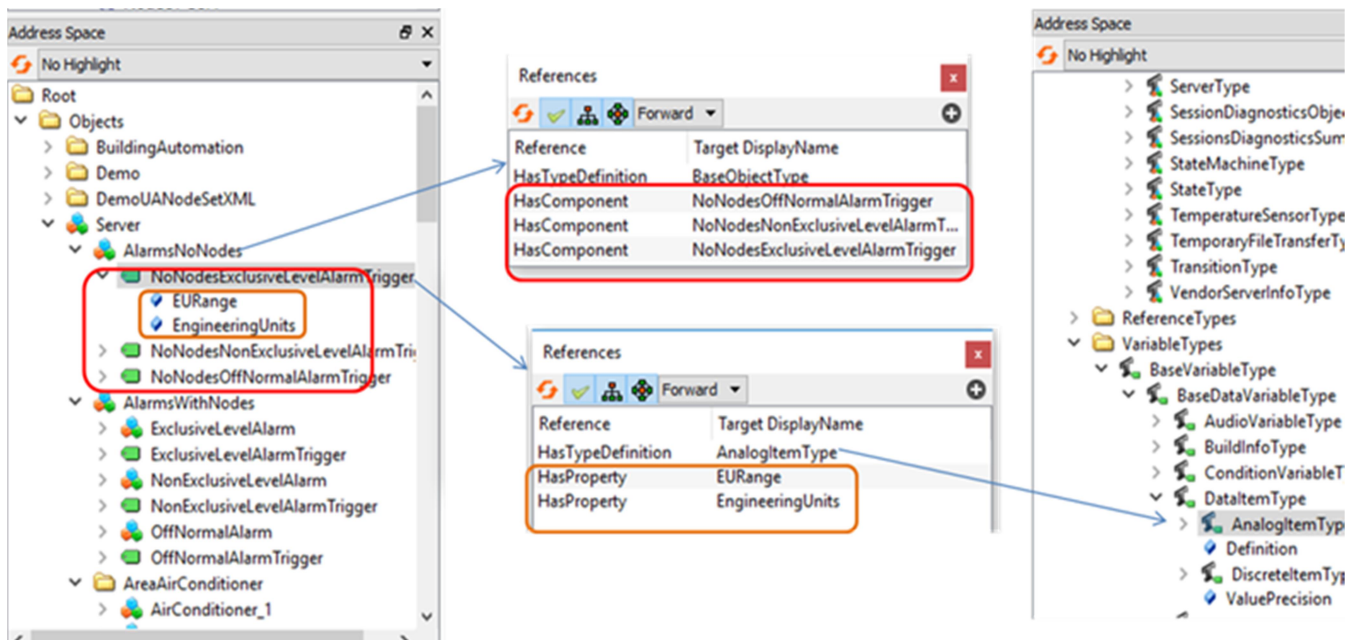


Рисунок 3.11 – Посилання

Змінні (Variables) використовуються для представлення змісту об'єктів (див.рис.3.12). Означено два типи вузлів-Змінних: Properties (Властивості) і DataVariables (Змінні Даних). Вони відрізняються різновидом даних, що представляють, та можливістю вміщувати інші змінні.

Властивості (Properties), подібно до атрибуту вузла, містять задані сервером метадані об'єктів, змінних даних та інших вузлів. Властивості відрізняються від атрибутів тим, що вони можуть бути означені і додані сервером і охарактеризувати те, що представляє вузол. Набір атрибутів і їх призначення є однаковим для всіх вузлів конкретного класу, тоді як властивості можуть бути означені сервером. Наприклад, властивість може використовуватися для вказівки інженерної одиниці змінних. Властивості як і інші вузли також вміщують атрибути (рис.3.12), але не можуть включати в себе інші властивості. Властивості безпосередньо видимі в адресному просторі як Вузол, тоді як атрибути не є Вузлами. Вузол (Змінна, Об'єкт) і його властивості завжди повинні знаходитися на одному сервері.

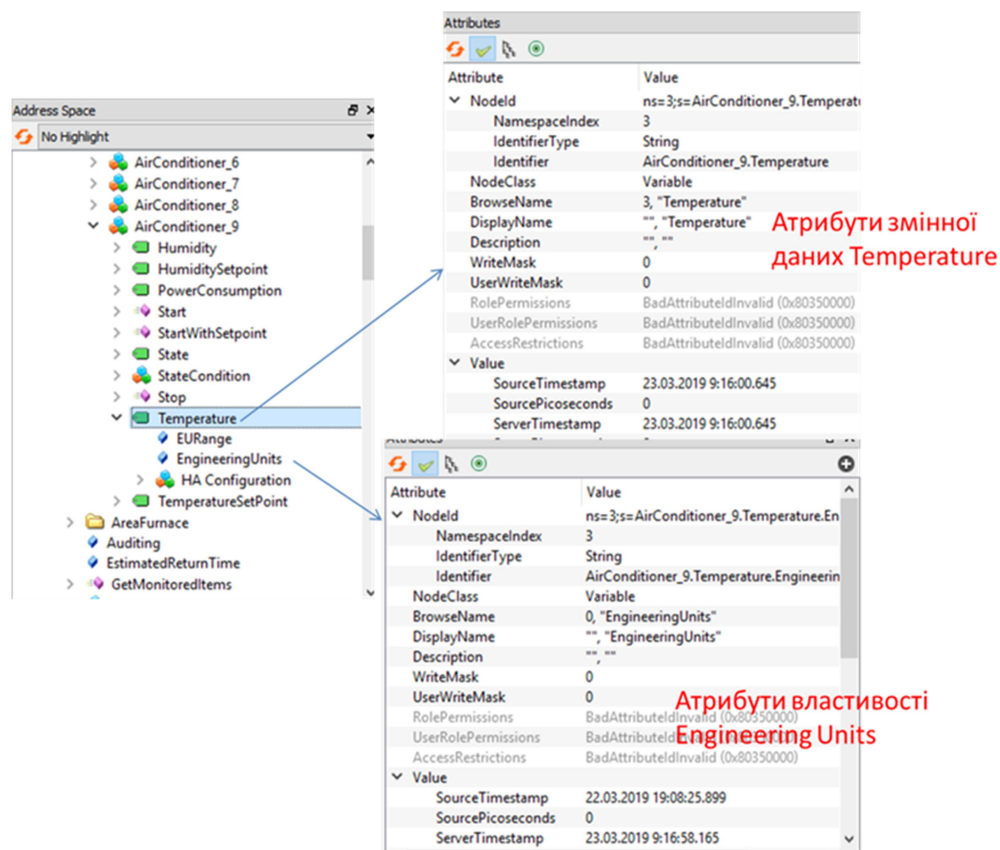


Рисунок 3.12 – Порівняння атрибутів і властивостей

Змінні Дані (Data Variables) представляють зміст (дані) об'єкта. Нагадаємо, що об'єкт є контейнером для змінних і методів (див.рис.3.7). Оскільки вузли-об'єкти (object node) безпосередньо не надають числових значення даних, це роблять вузли-змінні.

Змінні Дані можуть включати в себе (посилатися на) властивості або інші Змінні Дані. При включенні змінних даних формуються складені (структурні) Змінні Дані. Наприклад, об'єкт-файл використовує Змінну Дані для представлення вмісту файлу у вигляді масиву байтів. При цьому для розкриття часу створення і власника об'єкту-файлу можуть бути використані Властивості.

Наведемо інший приклад. Функціональні блоки в системах керування можуть бути представлені як об'єкти. Параметри функціонального блоку, такі як його задані значення, можуть бути представлені у вигляді Змінних Дані. Об'єкт функціонального блоку може також мати Властивості, що описують його час виконання і тип.

Ідентифікація вузлів в OPC UA

Класичний OPC DA Server використовує прості «символьні» ідентифікатори елементів "ItemID", який є унікальним на всьому OPC сервері. Тобто в класичному OPC існує тільки один "простір імен". Крім того, класичні сервери DA мають можливості лише простої ієрархії, тобто деревоподібної структури з гілками і листям. Таким чином, розробники для створення унікальних

ItemID мають використовувати повну ієрархію папок (наприклад, Folder1.Folder2.Folder3.MyTemperature). Це призводить до великої кількості надлишкових рядків, втрати пам'яті та уповільнення продуктивності під час перегляду або пошуку окремих елементів.

При розробці стандарту OPC UA ця концепція ідентифікації була відкинута. Тут кожен об'єкт в адресному просторі є вузлом. Щоб однозначно ідентифікувати Вузол, в нього є **NodeId**, який завжди складається з трьох елементів: Namespace Index (індекс простору імен), Identifier Type (тип ідентифікатора) та Identifier (ідентифікатор).

Namespace Index - Індекс, який сервер OPC UA використовує для ідентифікації URI простору імен (Уніфікований ідентифікатор ресурсів, Uniform Resource Identifier). Ідентифікатори в межах різних просторів імен можуть бути однаковими. **URI простору імен** ідентифікує того, хто(що) є автором імен в його межах (подібно до XML). Такими URI можуть бути наприклад «OPC Foundation», інші стандартні органи та консорціуми, або локальний сервер. Ці URI зберігаються в так званому масиві імен (також називається таблицею імен), індекси яких і використовуються для ідентифікації просторів імен.

Таким чином унікальність імен досягається тим, що в них є свої простори, які також є унікальними і означаються ідентифікаторами URI. Щоб посилатися не на довгі і незручні URI, у кожному сервері є таблиця цих імен, індекси (NamespaceIndex) якої можна використовувати для посилання. На рис.3.13 показані URI на сервері та їх індекси.

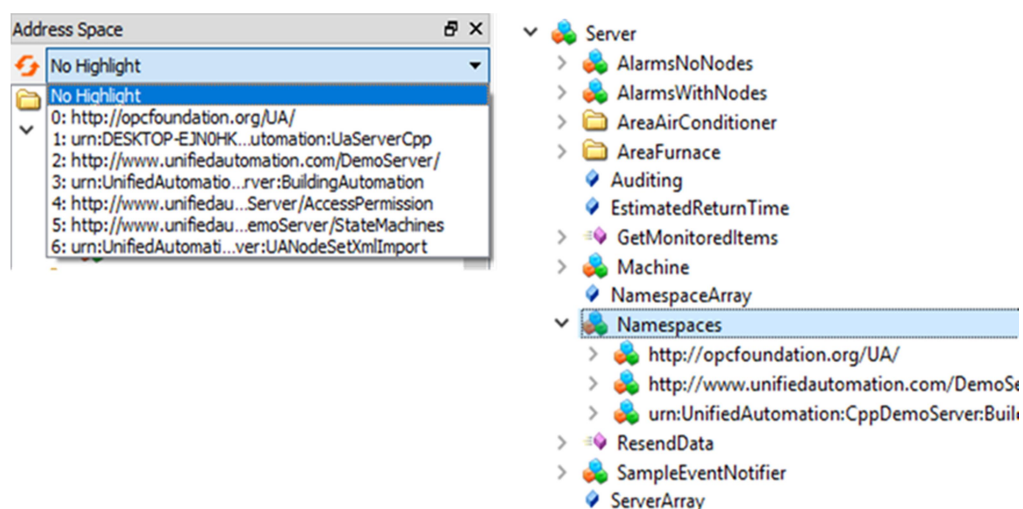


Рисунок 3.13 – Приклади URI просторів імен серверу UACppServer

Identifier Type - формат і тип даних ідентифікатора. Це може бути числове значення, рядок, глобальний унікальний ідентифікатор (GUID) або непрозоре значення (специфічний формат простору імен у форматі ByteString). Простір імен OPC UA, як означено в OPC Foundation, використовує числові NodeIds. Загальносистемні та глобальні унікальні ідентифікатори

дозволяють клієнтам відстежувати вузли, що переміщуються між серверами OPC UA, що буває у випадку, коли, наприклад, робочі замовлення просуваються по ланцюжку доданої вартості.

Identifier - ідентифікатор вузла в адресному просторі сервера OPC UA.

Наступне зображення показує приклади для NodeIds, що мають різні типи ідентифікаторів.

NodeId		NodeId	
NamespaceIndex	2	NamespaceIndex	2
IdentifierType	numeric	IdentifierType	opaque
Identifier	5001	Identifier	M/RbKBsRVkePCePcx24oRA==

NodeId		NodeId	
NamespaceIndex	2	NamespaceIndex	2
IdentifierType	string	IdentifierType	GUID
Identifier	MyTemperature	Identifier	09087e75-8e5e-499b-954f-f2a9603db28a

Рисунок 3.14 – Приклади різних типів NodeIds [18]

Існує XML-нотація, означена за допомогою схеми XML OPC UA, яка представляє повний кваліфікатор NodeId з використанням наведених вище елементів. Формат рядка:

ns=<namespaceIndex>;<identifiertype>=<identifier>

де <namespace index>- Індекс простору імен, відформатований в 10-ковій формі. Якщо індекс дорівнює 0, то "ns = 0;".

<identifier type> - прапорець, який вказує на тип ідентифікатора:

i - NUMERIC (UInteger)

s - STRING (String)

g - GUID (Guid)

b - OPAQUE (ByteString)

<identifier> - ідентифікатор, закодований як string. Ідентифікатор форматується за допомогою відображення типу даних XML для типу ідентифікатора. Зауважте, що ідентифікатор може містити будь-який ненульовий символ UTF8, включаючи пробіл. Посилатися табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Приклади ідентифікаторів NodeID

NodeID	Пояснення
ns=2;s=MyTemperature	namespace index 2, string identifier
i=2045	namespace index 0, numeric identifier
ns=1;g=09087e75-8e5e-499b-954f-f2a9603db28a	namespace index 1, GUID identifier

NodeID	Пояснення
ns=1;b=M/RbKBsRVkePCePcx24oRA==	namespace index 1, Opaque/ByteString identifier

Частина ідентифікатора NodeId однозначно ідентифікує вузол у просторі імен, але можливо, що один і той самий ідентифікатор використовується в різних просторах імен для різних вузлів.

Оскільки у сервісах OPC UA замість довгого URI використовується індекс простору імен, клієнт повинен подбати про правильне відображення URI у індекс. Поки існує активний сеанс, серверам не дозволяється змінювати індекс для конкретного URI або видаляти записи з таблиці просторів імен, щоб для активного сеансу клієнти могли кешувати таблицю простору імен. Але якщо клієнт не підключений до сервера він може змінювати індекси і видаляти записи з таблиці просторів імен. З цієї причини клієнт не повинен зберігати індекс без зберігання URI, оскільки протягом наступного сеансу він може отримати інший індекс. Таким чином, при встановленні сеансу з сервером, клієнт завжди повинен читати таблицю простору імен сервера та оновити індекси простору імен.

Розглянемо це на прикладі (див.рис.3.15). Клієнт бажає прочитати дані з Вузлу, представленого ідентифікатором MyTemperature, який належить до простору імен, означеним URI urn:MyCompany:UaServer:Model2. Клієнт зберігає власну таблицю просторів імен, що містить потрібні URI, щоб створити повністю кваліфікований NodeIds, але ще не знає відповідного індексу простору імен у таблиці імен сервера.

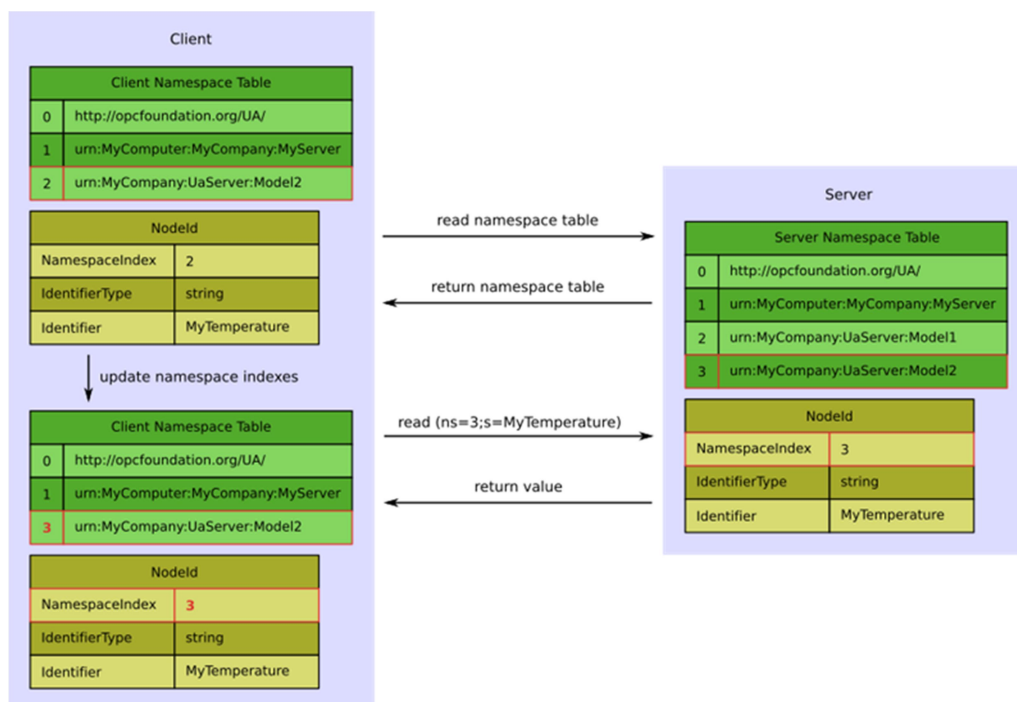


Рисунок 3.15 – Читання і збереження таблиці простору імен [18]

Для того, щоб мати доступ до правильного вузла, клієнт повинен спочатку прочитати таблицю простору імен сервера. URI простору імен `urn:MyCompany:UaServer:Model2` представлений індексом простору імен 3 на сервері. Тепер клієнт може оновлювати індекси простору імен у своїй таблиці простору імен, тобто індекс 2 індексом 3, і для доступу до правильного node використати адресу у форматі XML `ns=3;s=MyTemperature`.

Якби клієнт не оновив індекси в таблиці простору імен, могла б виникнути наступна ситуація. Оскільки допускається, що простір імен, ідентифікований іншим URI, наприклад `urn:MyCompany:UaServer:Model1`, також може містити вузол, що має ідентифікатор `MyTemperature`, клієнт може навіть не помітити, що він звернувся до неправильного вузла при читанні `ns=2;s=MyTemperature`.

Для оновлення даних на клієнті технологія OPC UA надає функціональність **підписки** (**Subscription**). Клієнт OPC UA може підписатися на вибрані вузли і казати серверу стежити за цими елементами. Таким чином сервер повідомлятиме клієнта тільки про якісь зміни значень або стану. Цей механізм значно зменшує обсяг переданих даних. Окрім зменшення завантаження на мережу, цей механізм надає додаткові переваги і є рекомендованим механізмом «зчитування» інформації з OPC UA серверу.

Існує три різні типи "змін", на які може підписатися Клієнт, додаючи Контрольовані Елементи до Підписки:

- підписатися на зміну значень змінних (атрибут Value змінної);
- підписатися на події об'єктів (атрибут EventNotifier об'єкта та набору фільтрів подій);
- підписатися на агреговані значення, які обчислюються у означених клієнтом часових інтервалах, на основі поточних змінних значень.

Налаштування, доступні для Контрольованих Елементів (Monitored Items) та Підписки (Subscription), наведені на рисунку 3.16.

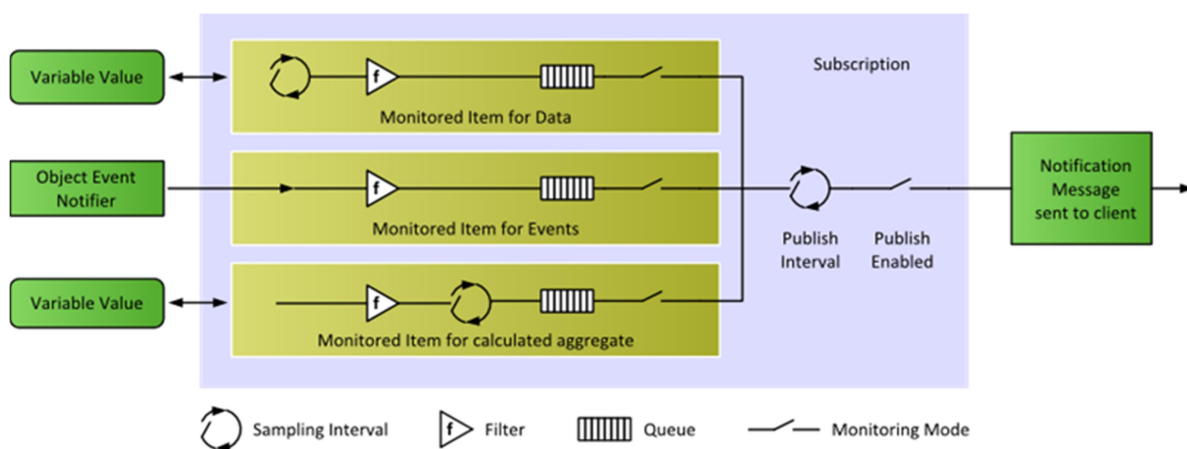


Рисунок 3.16 – Налаштування Контрольованих Елементів (Monitored Items) та Підписки (Subscription) [18]

Інтервал вибірки (sampling interval) означає часовий інтервал індивідуально для кожного Контрольованого Елемента в підписці. Це період, з якою сервер перевіряє джерело даних на зміни. Вибірка може проводитися набагато частіше, ніж Клієнту відправлятиметься повідомлення. У цьому випадку Сервер може записувати вимірюване значення протягом певного часу в чергу, а згодом публікувати повну чергу. У випадку **Агрегованих Контрольованих Елементів (Aggregate Monitored Items)** інтервал вибірки означає інтервал, для якого агрегуються дані.

Фільтри (filter) містять декілька критеріїв, за якими можна вказати, які зміни даних або події слід повідомляти а які повинні бути заблоковані (не передаватися). У випадку Агрегованих Контрольованих Елементів він також містить інтервал дискретизації необроблених даних, який означає швидкість вибірки значень з джерела даних.

UA-сервер може підтримувати запис в чергу (буфер) вимірюваних даних або подій. Розмір черги, тобто максимальне число значень, які можна поставити в чергу, можна налаштувати для кожного Контрольованого Елемента. Коли дані надходять до клієнта (при публікації) черга очищається. Кожна черга має політику відкидання (наприклад, відхилення найстаріших) у разі виникнення переповнення.

Встановивши режим моніторингу, вибірку даних та звітність можна увімкнути або вимкнути.

Існує два параметри, які впливають на саму підписку: Publishing Interval і Publish Enabled. Після кожного **Publishing Interval (Інтервалу Публікації)** сповіщення, зібрані в черзі, доставляються клієнту в повідомленні сповіщення (Publish Response). Клієнт повинен гарантувати, що сервер отримав достатню кількість маркерів публікації (Publish Tokens = Publish Requests), так що всякий раз, коли закінчиться інтервал публікації і повідомлення буде готово до відправки, сервер використовує такий маркер і надсилає дані в межах Publish Response. У випадку, якщо нічого не повідомляється (наприклад, ніяких значень не було змінено), сервер надішле повідомлення Клієнту KeepAlive, яке є пустим Publish-повідомленням, щоб вказати, що сервер ще працює, тільки йому нічого відправляти. Надсилання повідомлення сповіщення можна ввімкнути або вимкнути, змінивши параметр **Publish Enabled** (Опублікування ввімкнено).

Підключення до OPC UA

Щоб підключитися до сервера, клієнту необхідно вказати мережну адресу, протокол і параметри безпеки. Для цього OPC UA означає набір функцій виявлення. Вся інформація, необхідна для встановлення підключення клієнту до серверу, зберігається в його **кінцевій точці (endpoint)**. Сервер може надати кілька кінцевих точок, кожна з яких містить (див. рис.3.17)

- URL кінцевої точки (протокол і адреса мережі), для різних схем використовуються схеми:

- opc.tcp для OPC UA TCP
- https - для HTTPS
- wss - для WebSockets
- політика безпеки (Security Policy, назва для набору алгоритмів безпеки та довжина ключа)
- режим захисту повідомлень (Message Security Mode, рівень безпеки для обміну повідомленнями)
- тип маркера користувача (User Token Type, типи автентифікації користувача, що підтримуються сервером)

Якщо існує декілька серверів OPC UA, для надання інформації про доступні сервери можна використовувати **Сервер Виявлення (Discovery Server)**, на які попередньо реєструються OPC UA Сервери. Клієнти можуть запитувати список всіх доступних серверів з Сервера Виявлення, після чого можна використовувати службу «Get Endpoints» для отримання інформації про доступні з'єднання з сервера.

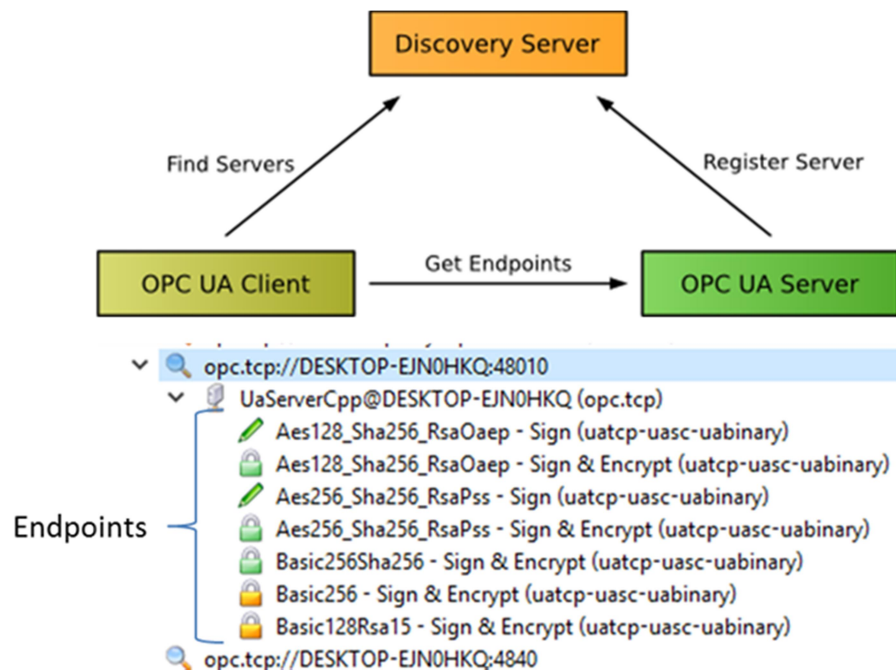


Рисунок 3.17 – Принципи роботи Серверу Виявлення та приклад переліку кінцевих точок [18]

Щоб ідентифікувати себе для комунікаційних партнерів, кожен встановлений застосунок або пристрій OPC UA потребує **Application Instance Certificate (Сертифікат екземпляру застосунку)** та пов'язану пару публічних/приватних ключів. Відкритий ключ розповсюджується разом із сертифікатом. Приватний ключ повинен залишатися таємним і використовується для підписування та/або розшифровки повідомлень. Партнер зв'язку може використовувати відкритий ключ для перевірки відношення довіри, перевірки підпису повідомлень і шифрування повідомлень. Сертифікат екземпляра застосунку, включаючи публічний і приватний ключ, може

бути згенерований застосунком або наданий адміністратором. Детальніше про захищений зв'язок описано в посібнику.

Сервер повинен надати принаймні одну кінцеву точку, до якої можуть підключатися клієнти. Клієнт використовує **Discovery URL** (як правило, ідентичну URL кінцевої точки) для запиту з сервера списку кінцевих точок, включаючи конфігурацію безпеки. Цей запит через сервіс GetEndpoints завжди працює без перевірки безпеки. Адреса Discovery URL зазвичай надається серверами Discovery, але може бути надана користувачем вручну.

URL кінцевої точки (*Endpoint URL*) надає основну інформацію, яку клієнти потребують для підключення до сервера, включаючи: протокол, ім'я хоста або IP-адресу, а також номер порту. Наприклад,

`opc.tcp://localhost:48020`

Для встановлення безпечного з'єднання з сервером клієнт повинен довіряти сертифікату серверу, тобто сертифікат повинен бути доданий до списку довіри. Зазвичай відкривається діалогове вікно, яке спонукає користувача переглянути сертифікат і вирішити, чи слід довіряти йому. На рис.3.18 показано діалогове вікно в тестовому OPC UA Client “UaExpert” при спробі вперше підключитися до сервера “UaServerCpp”. Він відображає вміст сертифіката серверу і дозволяє користувачеві вирішувати, чи слід довіряти сертифікату чи ні. Якщо користувач вибирає "Trust Server Certificate", він зберігається в папці, *trusted/certs* в сховищі сертифікатів PKI UaExpert.

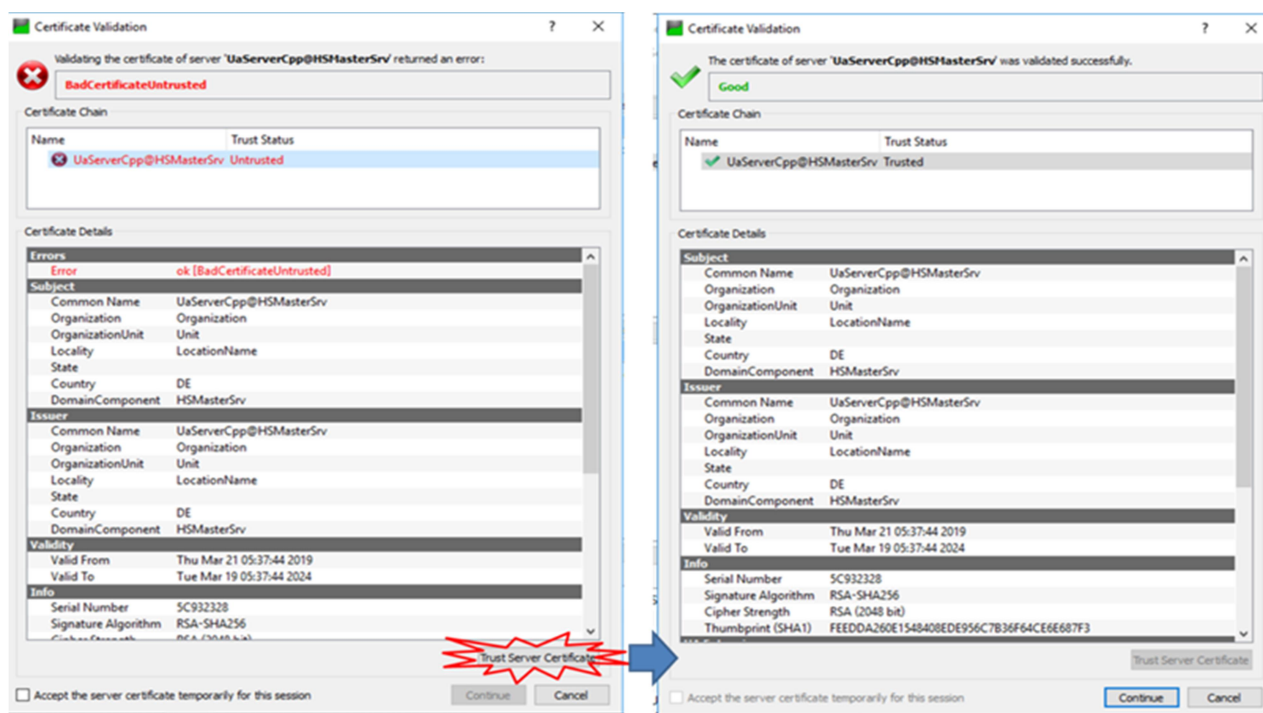


Рисунок 3.18 – Приклад користувацького вікна для перегляду, прийняття або відхилення сертифікату

Довірившись сертифікату, клієнт може перевірити підпис (сигнатуру) повідомлень з сервера і зашифрувати повідомлення, що надсилаються на сервер. Після збереження кінцевих точок у списку з'єднань сервера завершується конфігурація клієнта.

Тестові утиліти для OPC UA

Як і для класичного OPC, для OPC UA є достатньо багато доступних безкоштовних тестових клієнтів і серверів. Враховуючи, що технологія є мульти-платформовою ці утиліти доступні не тільки для Windows і не тільки для ПК. Наявність мобільних застосунків робить її ще більш привабливою.

Серед безкоштовних «еталонних» серверів для Windows зупинимося на UaCPPServer (OPC UA C++ Demo Server) – тестовий OPC Unified Architecture Server для операційних систем Windows, в якому імітуються дані та інформаційна модель (Standard, DI та PLCopen). Після запуску OPC-сервера створюється тільки одне консольне вікно, в якому виводиться URL кінцевої точки (рис.3.19). Для конфігурування використовується окрема програма (UA Server Administration), в якій також можна керувати сертифікатами. На рис.3.19 видно, що стоїть опція “Accept all certificates”, що дозволяє підключатися кому завгодно з будь яким сертифікатом, також дозволено підключатися без шифрування та автентифікації. Таке налаштування зручно при тестових підключеннях, але для реальних проектів **недопустимо з точки зору кібербезпеки!** У демо-сервері UaCPPServer прописані користувачі та паролі з різними ролями (див.табл.3.2)

Табл.3.2. Користувачі та їх паролі наперед визначені в UaCPPServer

UserId	GroupId	UserName	Password
0	0	root	secret
1	1	joe	god
2	0,1,2	john	master
3	1,2	sue	curly

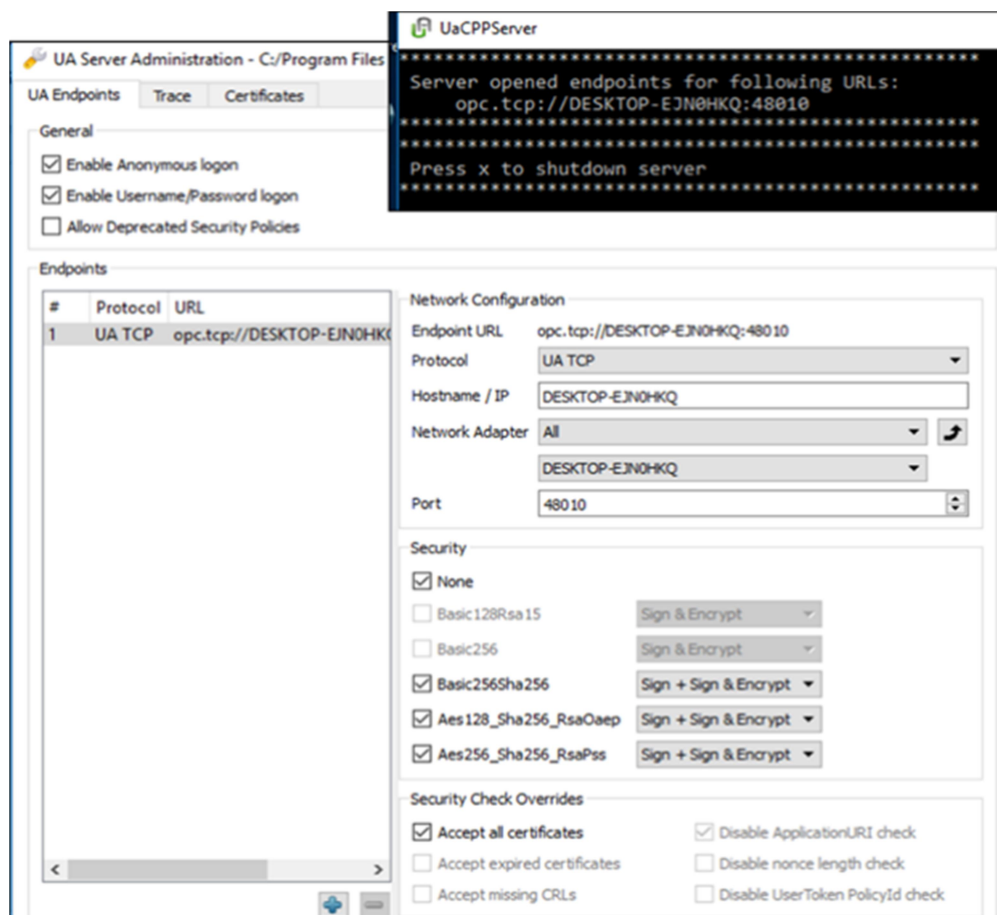


Рисунок 3.19 – Вікно Сервера OPC UA C++ Demo (UaCPPServer) та утиліти його конфігурування

У якості клієнта під Windows зручною є безкоштовна утиліта UaExpert – це повнофункціональний клієнт OPC UA, який може працювати з декількома профілями та функціями OPC UA. Інтерфейс містить перелік серверів проекту з вказівкою їх стану, навігатор адресного простору, вікно вибраних об'єктів, вікно атрибутів і посилань (рис.3.20). Клієнт дає можливість змінювати значення Змінних.

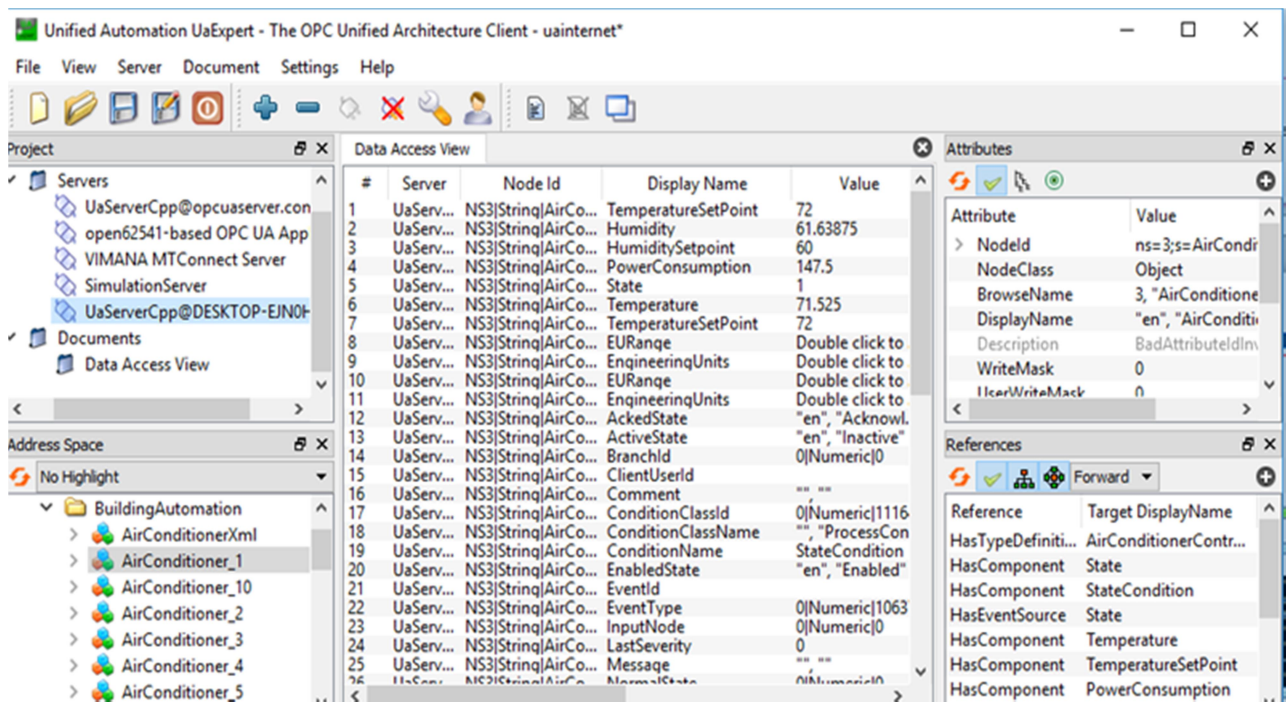


Рисунок 3.20 – Вікно UaExpert

Приклад використання в MOM

Розглянемо використання OPC UA в якості інтерфейсу в системі MOM на прикладі Momentum від компанії BrightEye. Комунікацією з джерелами даних в Momentum займається DataCenter. В його конфігурації додаються необхідні підключення (рис.3.21), для яких вказується тип, серед яких є як OPC DA так і OPC UA.

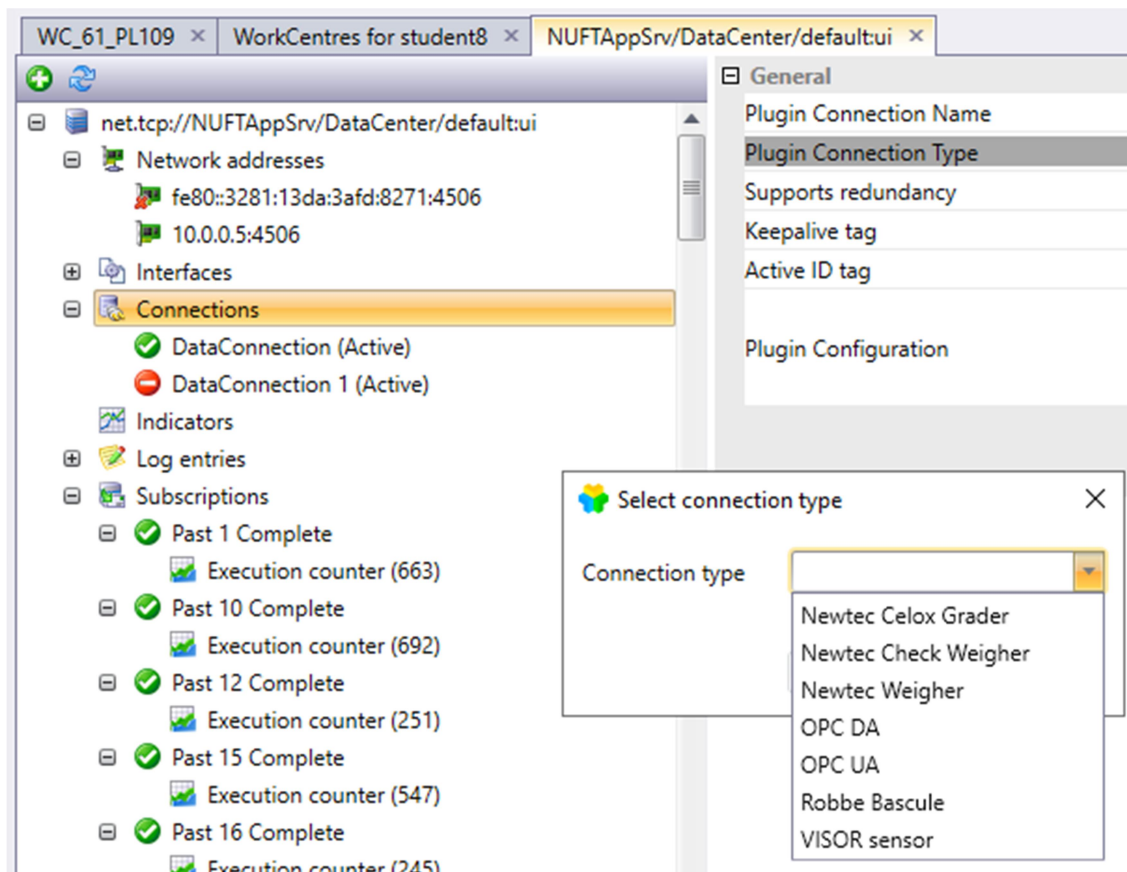


Рисунок 3.21 – Вікно додавання нового підключення в Momentum

Далі налаштовується URL та інші властивості підключення (рис.3.22)

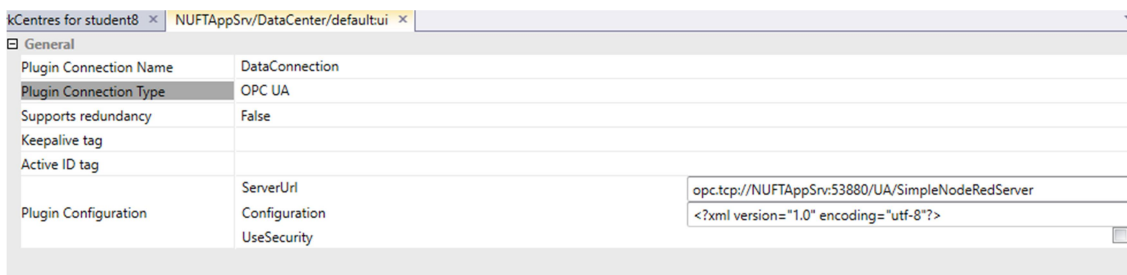


Рисунок 3.22 – Налаштування підключення

Після налаштування підключення, в межах системи йде ідентифікація змінної згідно означення схеми XML OPC UA, наприклад:

DataConnection://ns=1;s=P1_A1.PAST1.TT101

Контрольні питання

1. Розкажіть про категорії операції що означені в стандартах ISA-95/ IEC-62264. За яким принципом їх розділяють?
2. Які основні складові входять до інформаційних систем класу MOM з точки зору технічної реалізації?
3. Наведіть приклад технічної реалізації MOM.
4. Розкажіть про загальні принципи побудови обміну між SCADA/HMI та іншими засобами з використанням OPC DA.
5. Яка програма називається OPC Server?
6. Яка програма називається OPC Client?
7. Чим виступає SCADA/HMI або MES/MOM програма при з'єднанні з ПЛК: OPC Client чи Server?
8. Що необхідно налаштувати в OPC DA Server для забезпечення доступу до даних через його драйвер?
9. Що необхідно налаштувати в SCADA/HMI програмі або MES/MOM для забезпечення доступу до даних OPC DA Server, до якого він намагається підключитися?
10. Як у стандарті OPC DA означені правила ідентифікації тегів?
11. Як можна дізнатися про формування ідентифікатора OPC ItemID? Покажіть це на прикладі.
12. Які основні атрибути, окрім Value, є в OPC Item?
13. Які процедури необхідно зробити, щоб налаштувати з'єднання з віддаленим OPC сервером?
14. У якій сфері застосовують технології OPC DA в проектах зі SCADA/HMI та застосунками рівня MES/MOM?
15. Яка принципова відмінність OPC DA від OPC UA? Які в цьому переваги?
16. Розкажіть про принципи організації адресного простору OPC UA (Address Space).
17. Які класи вузлів Ви знаєте? Яке їх призначення?
18. Що таке атрибути вузла?
19. Як організовані зв'язки між вузлами? Що таке посилання?
20. Розкажіть про призначення вузлів класу Змінні (Variables).
21. Чим відрізняються типи вузлів класу змінних: Properties (Властивості) і DataVariables (Змінні Даних)?
22. Розкажіть, як означається ідентифікатор NodeId для вузла.
23. Що таке Namespace Index? Як URI простору імен пов'язаний з індексом?
24. Як правильно звертатися до простору імен у різних сесіях?
25. Які IdentifierType Ви можете назвати?

26. Як представляється повний кваліфікатор NodeId в XML-нотації?
27. Розкажіть про призначення сервера виявлення (Discovery Server).
28. Розкажіть про принципи автентифікації в OPC UA.

4. Модель керування операціями основного виробництва

4.1. Модель діяльності керування операціями основного виробництва

У попередніх лекціях було показано, що функції MOM згідно стандарту розділені між різними категоріями операцій. Також було сказано що кожна з категорій має певний набір діяльностей (activity), які мають однакове призначення в кожній категорії. В частинах 3 та 4 стандартів ISA-95/IEC 62264 ці діяльності розписані детально. Це дає можливість представити діяльності будь якої інформаційної системи класу MOM незалежно від її реалізації. При необхідності горизонтальної інтеграції систем класу MOM це також дає можливість забезпечити інформаційним обміном різні системи.

На рис.4.1 показана модель керування операціями основного виробництва. Як зазначено вище, керування операціями основного виробництва – це категорія, що складається з видів діяльностей, безпосередньо пов'язаних з виготовленням продукції. Пояснимо керівні діяльності для цієї категорії операції. IEC 62264-3 означає вісім діяльностей в межах операцій основного виробництва:

- керування означенням продукту;
- керування виробничими ресурсами;
- детальне календарне планування основного виробництва;
- диспетчерування виробництва;
- керування виконанням операцій основного виробництва;
- збір даних основного виробництва;
- стеження за виробництвом;
- аналіз ефективності основного виробництва.

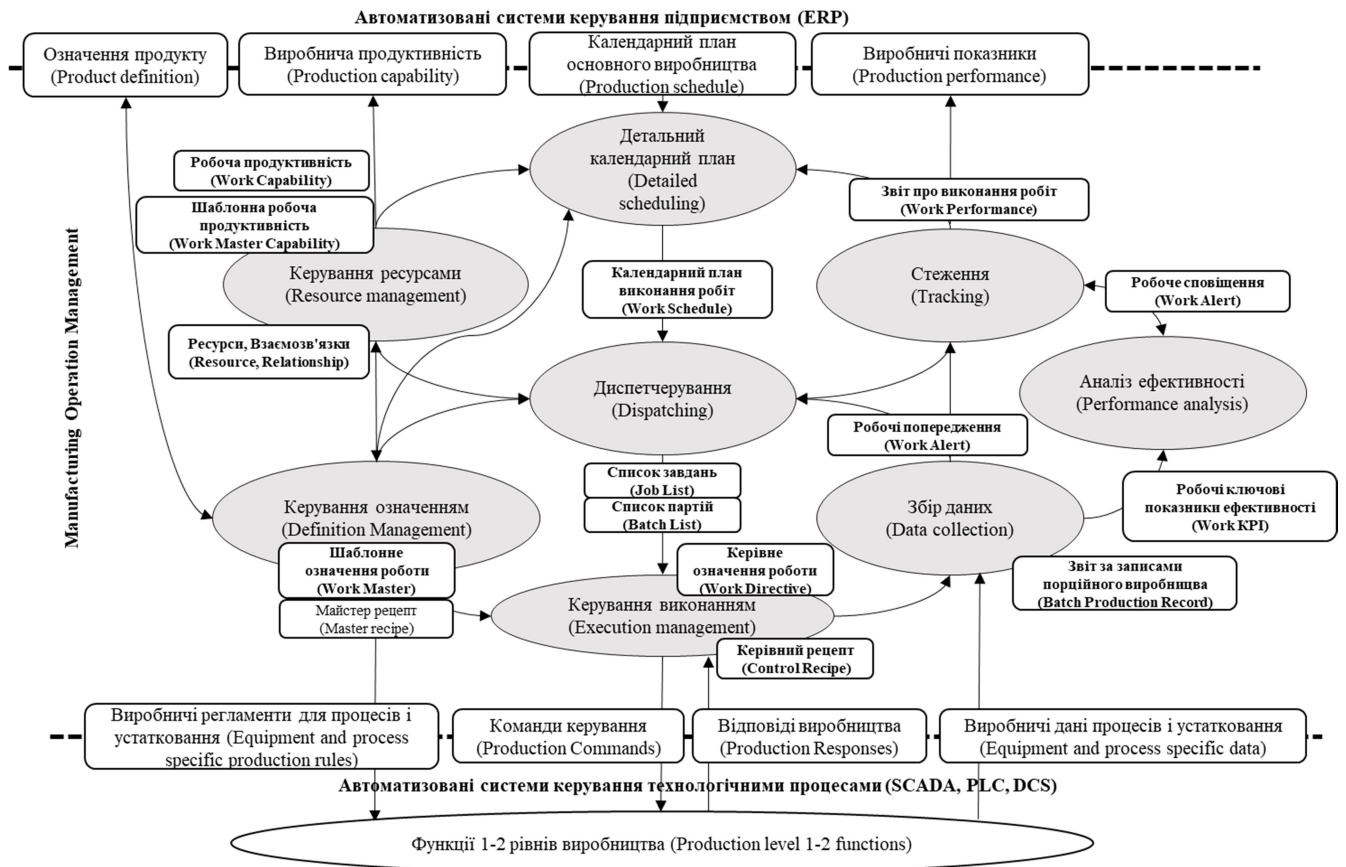


Рисунок 4.1 – Модель діяльності керування операціями основного виробництва [6]

Для прикладу, кожна із діяльностей у MOM системі Momentum означається через відповідні розділи проекту (рис.4.2). Основна частина (ядро, core) надає доступ до доступних ресурсів як для читання так і для використання. Взаємодія з рівнем АСКТП відбувається через Data Center. Модулі для реалізації усіх інших компонентів показаний на рисунку.

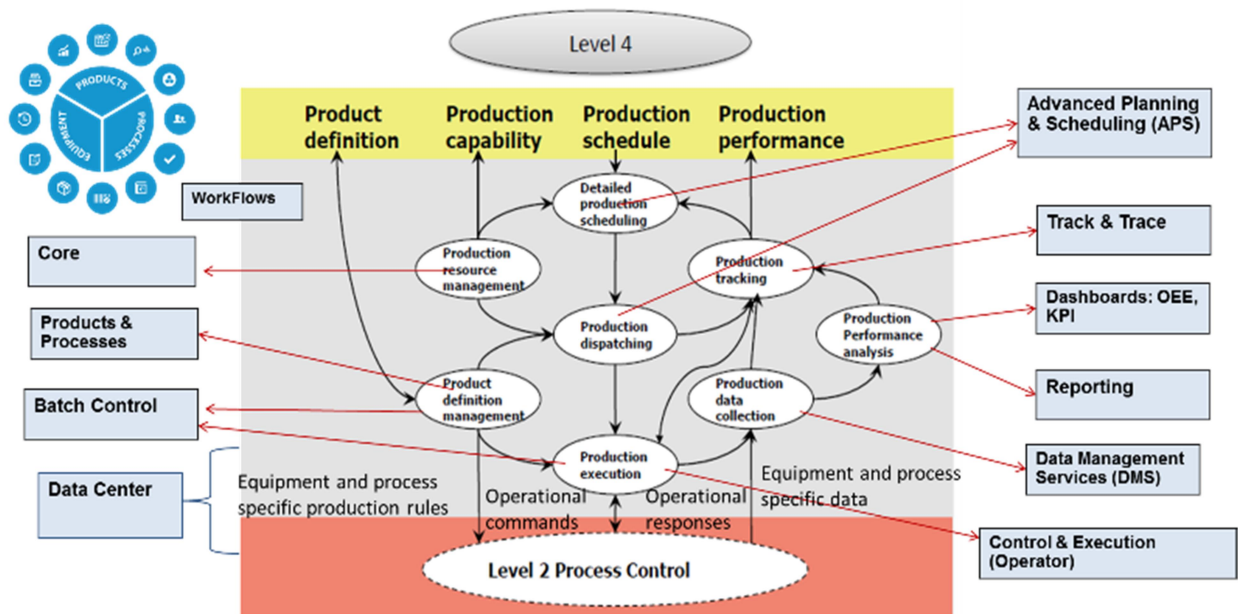


Рисунок 4.2 – Діяльності керування в Momentum

Нижче коротко зупинимося на призначенні кожної функції в категорії керування операціями основного виробництва, а також наведемо приклади означення в MOM системі. Більш детальному опису цих функцій будуть присвячені окремі теми лекцій.

4.2. Керування означенням продукту

Сегмент процесу та продукту

Як було зазначено, **сегмент процесу** - це об'єднання ресурсів, які показують які ресурси є на виробництві для проведення операції (-цій), наприклад виготовлення певного напівпродукту. Це устаткування, персонал які задіяні в процесі, і матеріали які зараз є в наявності а також параметри. Кожен сегмент процесу має свої власні характеристики, і для отримання прийнятних кінцевих продуктів необхідно виконувати різні операції в певному порядку.

Сегмент продукту – це найбільш детальний вигляд процесу керування матеріальними ресурсами, трудовими ресурсами, використанням ресурсів, затратами та якістю з метою керування виробництвом з точки зору бізнес систем. Сегмент продукту ідентифікує, посилається або відповідає сегменту процесу. Цей взаємозв'язок проілюстрований на рисунку 4.3.

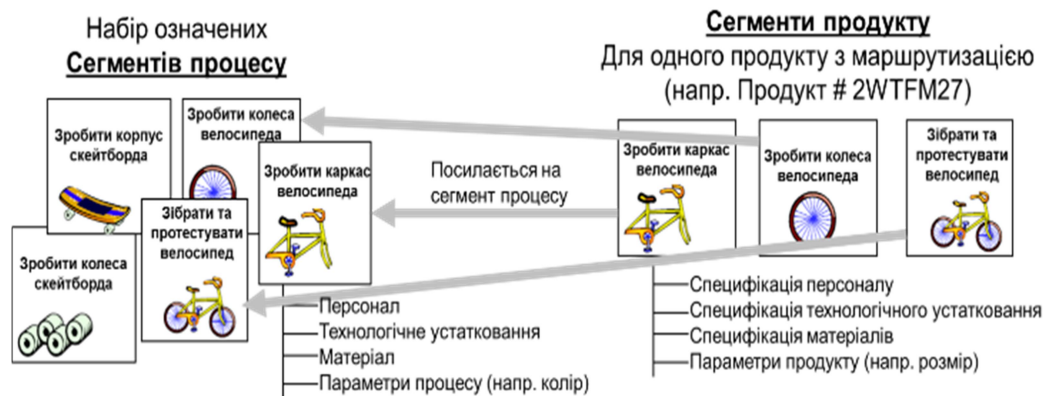


Рисунок 4.3 – Відношення сегмента продукту до сегмента процесу [3]

Сегмент продукту пов'язаний з конкретним продуктом, тоді як сегмент процесу не залежить від продукту. Сегмент процесу включає в себе певну сукупність взаємопов'язаних ресурсів (персонал, устаткування, матеріали). Сегменти продукту і процесу відображають виробничі процеси з точки зору бізнесу і не призначені для подання детального огляду, необхідного для керування виробничими операціями в межах Рівня 3.

Таким чином, сегменти продукту формують означення ланцюга послідовностей сегментів процесу для створення конкретного продукту. Ці сегменти процесу можуть, наприклад, включати в себе робочі центри, в яких буде вироблятися продукт, задіяний персонал та матеріали.

У MOM системі Momentum є подібна до сегменту процесу сутність, яка зветься процесом. Вона означає технологічний процес, на який посилаються робочі центри та сегменти продукту. Таким чином через процес відбувається зв'язок між сегментами продуктів та робочими центрами, на яких вони можуть бути виготовлені. На рис.4.4 показаний приклад процесу Pasteurization Milk 41 в якому зокрема налаштовуються параметри процесу, робочі центри на яких він виконується.

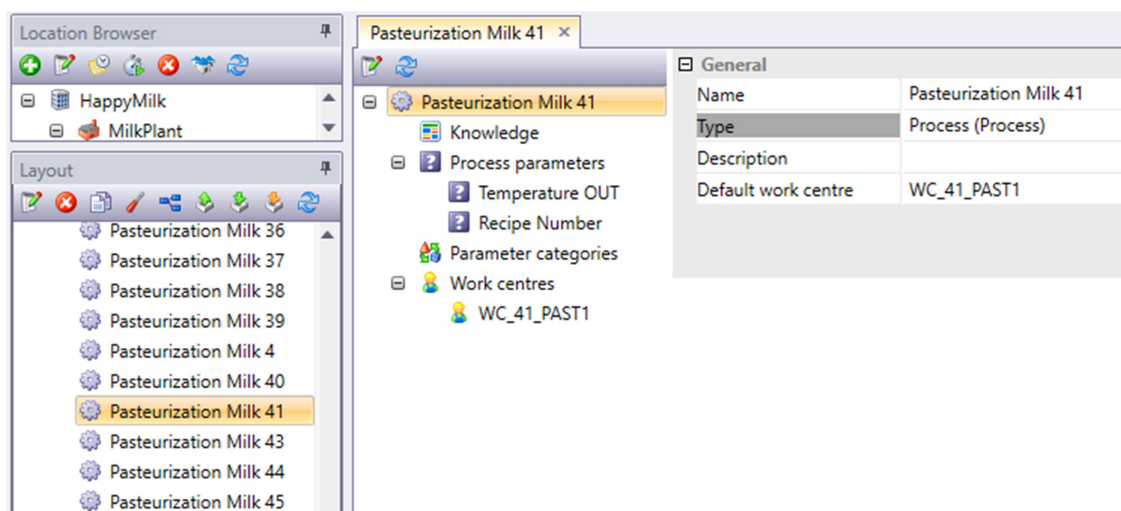


Рисунок 4.4 – Приклад процесу в Momentum

У середовищі Momentum сегменти продуктів означаються через модуль Products (продукти). Кожен продукт означається:

- процесом, який використовується для його виготовлення
- рецептом, який означає з яких продуктів він виробляється
- енергетичні та інші витратні матеріали, які споживаються, але не входять в продукт
- пакувальні матеріали
- інші характеристики

Враховуючи, що сегменти продуктів робляться з інших сегментів, для означення кінцевого продукту виходить ланцюжок взаємозв'язаних сегментів.



Рисунок 4.5 – Типи та зв'язки сегментів продукту [16]

Продукти в Momentum діляться на типи, в залежності від їх особливостей (див.рис.4.6). Так, сегмент типу Consumer Unit (споживча одиниця) потребує матеріали, що виробляються в сегменті типу Intermediate (напівпродукт) та матеріали з сегменту Packaging material. Сировина (Raw material) не потребує вхідного продукту.



Рисунок 4.6 – Приклад продукту означений через сегмент продуктів [16]

Зв'язок технології виробництва і устаткування

Для забезпечення сегмента процесу потрібні різні фізичні ресурси: персонал, устаткування та продукти. Наприклад, для забезпечення процесу змішування потрібні оператор (персонал), змішувач (устаткування) та сировина (продукти). Іншими словами, сегмент процесу складається з робочих центрів і устаткування, які реально виконують зазначену роботу. Робочі центри представляють собою віртуальну колекцію супутнього устаткування, наприклад, пакувальні лінії. Устаткування відноситься до окремих машин або пристроїв, які виконують певне завдання, таким як принтер етикеток або змішувач.

Momentum використовує робочі центри (Work Centers) та устаткування (Equipment) для означення фізичного устаткування, необхідного в певний момент в процесі виробництва, а також для означення параметрів, що контролюються і налаштувань устаткування.

При плануванні ERP замовлення (клієнтські замовлення, customer order) для продуктів включає кількість необхідного продукту, що по факту посилається на відповідний сегменту продукту, наприклад упакований в коробки кінцевий споживчий продукт який необхідно доставити в палетах (рис.4.7). Для вироблення кінцевого продукту необхідні матеріали що означені через інші сегменти продуктів, наприклад для створення споживчої одиниці, які у свою чергу посилаються на інші сегменти, наприклад напівпродукти і т.д. Тому Momentum при плануванні спочатку визначає всі необхідні сегменти починаючи з кінцевого. Кожен сегмент продукту (Product) в своєму означенні посилається на відповідний сегмент процесу (Process), за рахунок чого Momentum визначає послідовність необхідних замовлень на роботи (work orders). Для виконання цих робіт при плануванні замовлення на роботи (work orders) призначаються (allocated) робочим центрам, які можуть виконувати процеси вказані у означенні продукту. Призначені на замовлення на роботи в Momentum називаються операціями.

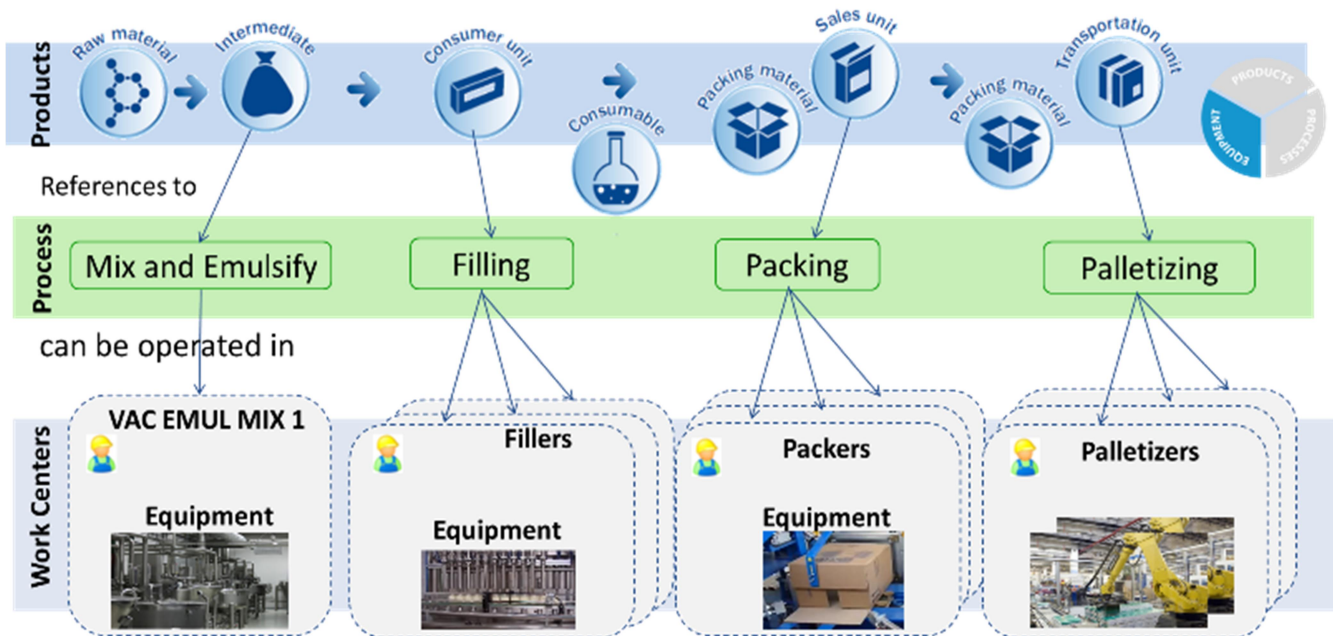


Рисунок 4.7 – зв'язок технології виробництва і устаткування в Momentum

Більш детально про керування означенням продукту буде в інших лекціях.

4.3. Керування ресурсами

Керування виробничими ресурсами означено як сукупність дій, які керують інформацією про ресурси, необхідні для виробничих операцій, зв'язки між ресурсами та робочими календарями. Ресурси включають машини, інструменти, робочу силу (з певним набором навичок), матеріали та енергію та сегменти процесу як означено в моделях об'єктів, наведених у інших частинах стандартів ISA-95/IEC 62264. Безпосереднє керування цими ресурсами з метою задоволення виробничих вимог здійснюється в інших видах діяльності, таких як диспетчеризація виробництва та керування виконанням виробництва.

Інформація про ресурси та зв'язки між ресурсами, необхідними для сегмента виробництва, повинна підтримуватися та надаватися щодо доступної, закріпленої (за іншим ресурсом) та недосяжної потужності для конкретних періодів часу. Діяльність з керування виробничими ресурсами включає збір інформації про нові, змінені або видалені означення, класи та екземпляри ресурсів.

До керування виробничими ресурсами відносяться наступні діяльності:

- Надання інформації про означення ресурсів (персоналу, матеріалів і устаткування).
- Надання інформації про можливості ресурсів у вказані моменти часу (доступність, закріпленість чи недосяжність). Інформація ґрунтується на поточному статусі, майбутніх резервуваннях і майбутніх потребах (як означено у виробничому плані, робочому

календарі та розкладі роботи) і є конкретною для ресурсів у визначених проміжках часу та сегментів процесу. Вона може включати інформацію про поточний баланс і збитки для обліку витрат на продукт.

- Забезпечення ініціювання запитів на призначення ресурсів для забезпечення майбутніх операційних можливостей.
- Забезпечення перевірки наявності устаткування для виконання поставлених завдань, правильності назв посад і поточного навчання персоналу, призначеного для виконання завдань. Наприклад, перевірка правильності статусу стерилізації устаткування («чистого») перед тим, як його призначити виробничій операції.
- Надання інформації про розміщення ресурсів і віднесення ресурсів до областей виробництва. Наприклад надання місця для мобільної інспекційної машини, яку можна використовувати в багатьох місцях.
- Координація керування виробничими ресурсами з діяльностями керування ресурсами інших категорій операцій (обслуговування, якості, тощо).
- Збір інформації про поточний стан та майбутні потреби персоналу, устаткування та матеріальних ресурсів, а також про потужність і можливості ресурсів.
- Ведення інформації про результати перевірки кваліфікації персоналу, тестування можливостей устаткування.
- Керування резервуванням майбутнього використання ресурсів.
- Ведення робочого календаря.

Доступність ресурсу надає часові означення, необхідні для планування та звітування про ресурс. Наявність ресурсів зазвичай враховує елементи робочого календаря, такі як робочий час, правила праці, календар свят, перерви, зупинки заводу та графіки змін. Доступний час може бути фіксованим або гнучким. Наприклад, в керуванні кадровими ресурсами час для обіду може бути гнучким між 11:00 ранку та 14:00 дня, або машина може бути недоступною протягом 8 годин протягом 16-годинного періоду. Наявність персоналу може визначати робочі та вихідні дні; 3 понеділка по п'ятницю вільні для роботи, субота та неділя недоступні для роботи або доступні для 2 днів ранньої зміни, 2 днів пізньої зміни, 2 днів нічної зміни та 3 вихідних.

На рис.4.8 показаний приклад означення календаря в Momentum для одного з цехів. Підтримується наслідування календарів.

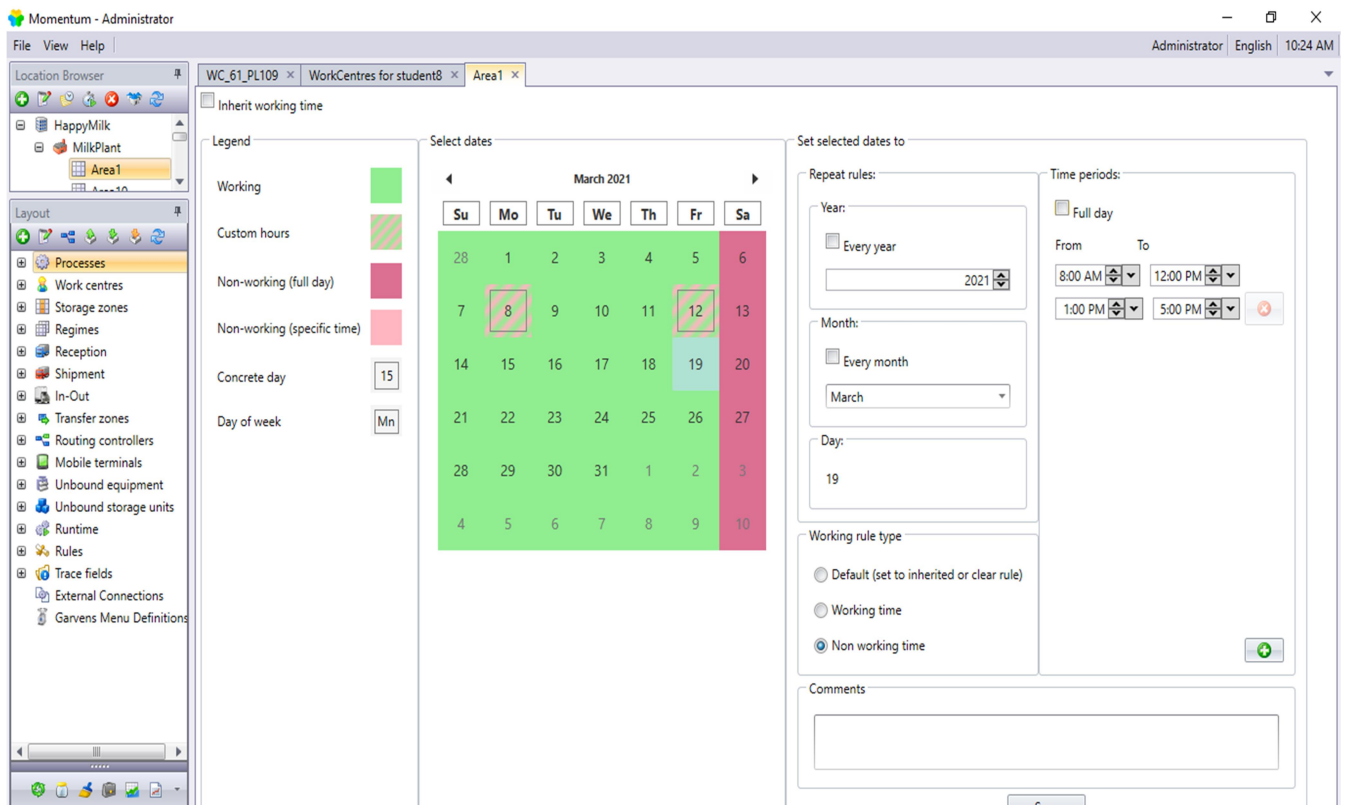


Рисунок 4.8 – Приклад означення календаря в Momentum

На рис.4.9 показаний приклад наданої інформації про виробничі потужності окремого ресурсу в означені періоди часу. Керування виробничими ресурсами інформує про наявність доступних ресурсів на основі робочого графіка та вимог до продукції. Призначений ресурс ідентифікується як закріплений (committed) на певний період часу, визначений виробничим планом, або до завершення запланованого завдання. Після завершення вікна календарного плану що затребує ресурс, він зазвичай повертається до доступного стану, якщо він ще не був закріплений для наступного призначення.

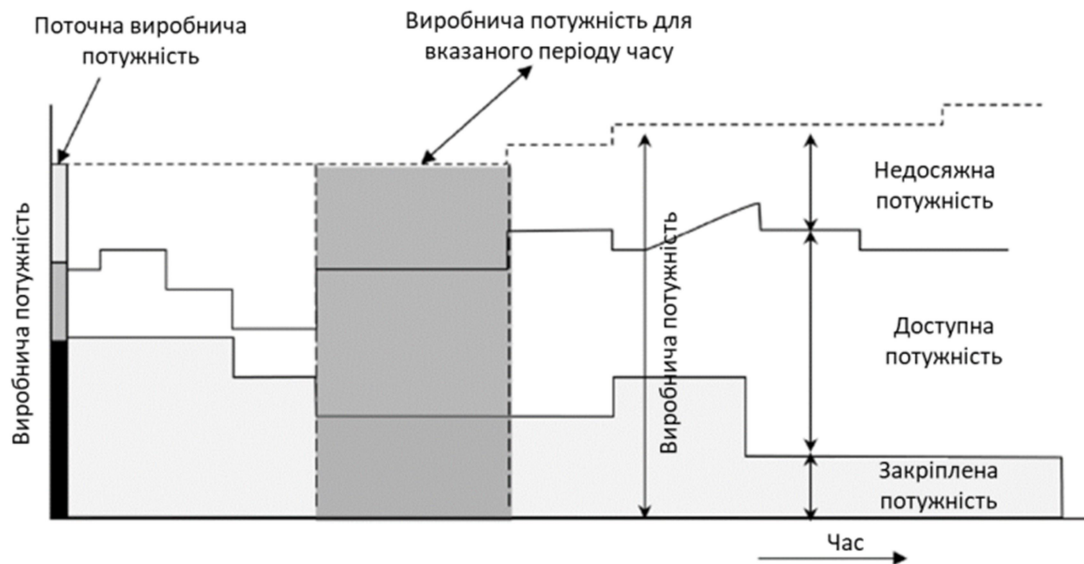


Рисунок 4.9. – Приклад звіту про виробничі потужності [3]

Розглянемо приклади про надану інформацію про різні типи ресурсів. Для кадрів інформація може включати рівні сертифікації, відстеження часу, витраченого на виконання конкретних завдань, і управління наявністю кадрових ресурсів. У деяких випадках ця інформація зберігається та обробляється в корпоративних системах керування персоналом, але має бути доступною для виробництва. Часто рівень деталізації, необхідний для виробництва, наприклад дати закінчення терміну дії сертифікації та профспілковий стаж, не підтримується в системах управління персоналом. У цих випадках управління працею можна розглядати як частину виробничої діяльності. Діяльність з керування виробничими ресурсами також має стосуватися рівня кваліфікації. Кожен член персоналу може мати визнані навички за результатами кваліфікаційних тестів. Це означає профіль навичок, який використовується керуванням виробничими ресурсами, щоб дозволити направлення кваліфікованого персоналу для кожного конкретного виробничого виду діяльності.

Для прикладу, інформація може бути використана при плануванні. Якщо особа запланувала відпустку або, якщо відомо, що хворітиме протягом певного періоду часу, тоді служба управління персоналом бізнес-рівня може повідомити про цю ситуацію керівництву виробничих ресурсів. Це заважає виробництву призначити ресурс протягом цього періоду часу і відповідно може бути врахований в календарному плануванні.

Що стосується устаткування, то воно може перебувати в недоступному стані із-за потреби в технічному обслуговуванні. Наприклад, якщо повідомляється, що частина устаткування є несправною, запит на технічне обслуговування може вимагати класифікувати устаткування як непридатне. устаткування також буде класифіковано як непридатне, якщо для цього устаткування планується профілактичне технічне обслуговування. Коли устаткування відремонтовано або

завершено профілактичне технічне обслуговування завдання з технічного обслуговування вимагає повернення устаткування до його доступного стану. Вибране устаткування може бути піддано тесту на здатність устаткування. Цей результат тесту означає, чи може конкретне устаткування бути призначене для конкретного завдання в конкретному сегменті процесу.

Частиною діяльності керування ресурсами є керування інформацією про матеріально-енергетичні ресурси та майбутню матеріально-енергетичну доступність. Керування виробничими ресурсами отримує інформацію про надходження матеріалу або надходження енергії. Для планування виробництва також підтримується для надання інформації майбутня доступність. Це також включає керування інформацією про зміни умов матеріалу, наприклад, коли виявляється, що партія/підпартія матеріалу чи джерело енергії змінили свої специфікації. Зміни часто вказують на результати тестування якості. Наприклад, партія матеріалу може змінитися з «сухого» на «мокрый», рН може змінитися з 7,0 до 7,1, або доступна електрична потужність може змінитися з 300 кВт до 280 кВт.

4.4. Детальне календарне планування

Бізнес-система (ERP) надає календарний план виробництва, але він має бути адаптований та конкретизований. Тому для виконання загального плану проводиться детальне календарне планування в системі MOM. Воно використовує конкретні ресурси місцевого рівня (наприклад виробничого майданчику, цеху), враховуючи місцеві потужності. Ця адаптація до місцевих умов необхідна на рівні 3, оскільки системи планування рівня 4 для всього підприємства не мають детальної інформації, необхідної для керування виробництвом на необхідному рівні точності. При детальному календарному плануванні також існує можливість порівняння планів з фактичними результатами, які рідко проводяться на рівні 4. Ця діяльність також може об'єднувати або розділяти замовлення, щоб краще відповідати місцевим потужностям.

Як зазначено вище, для керування основним виробництвом означення продуктів проводиться через сегменти продуктів, в яких вказані необхідні сегменти процесів. Тому при плануванні (рис.4.10) відбувається закріплення ресурсів на певний відрізок часу відповідно до необхідного об'єму робіт (Job), при якому на конкретний ресурс видається робоче завдання (Job Order). Поєднання таких завдань для виготовлення певного об'єму продукції називається робочим замовленням (Work Request).

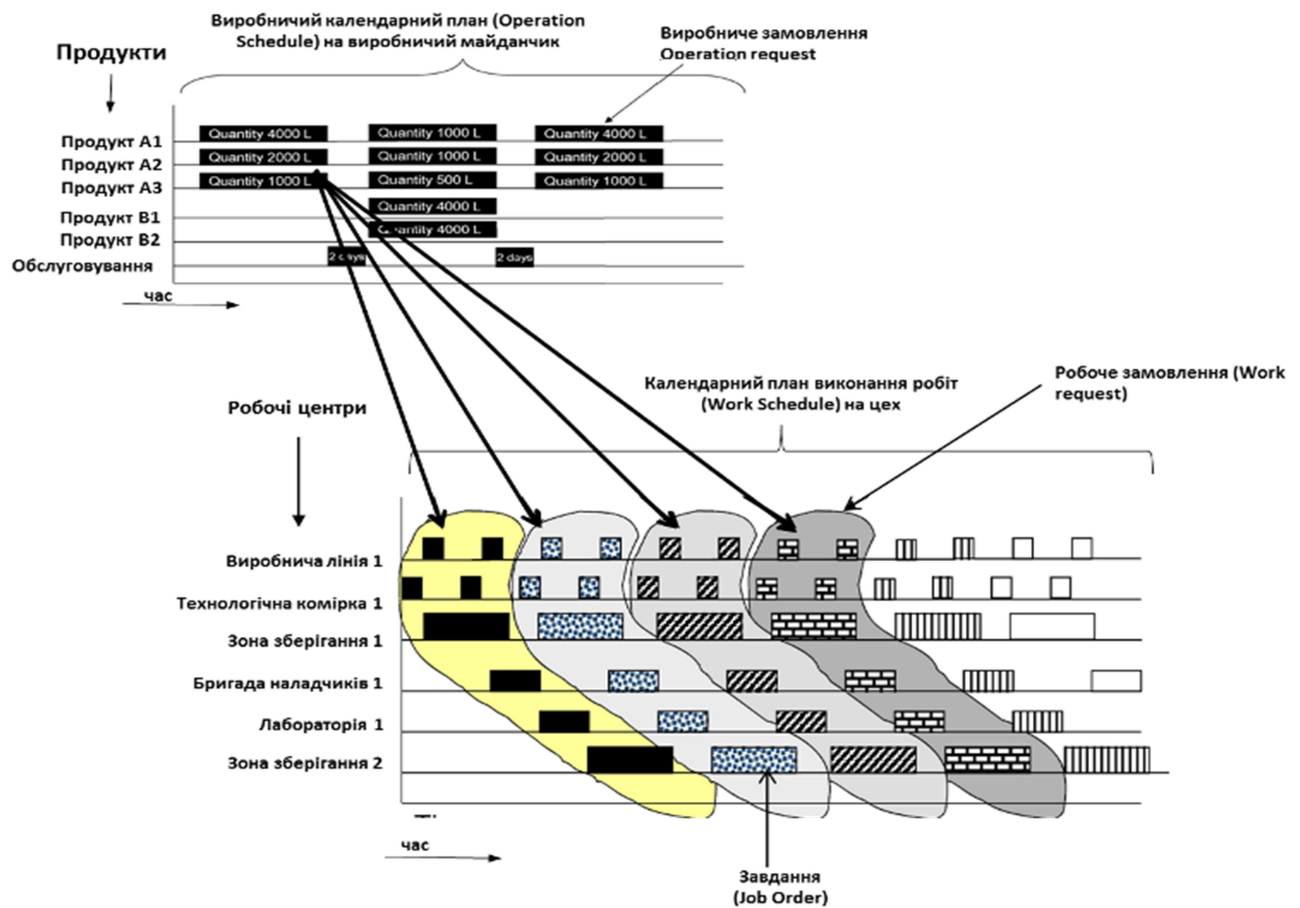


Рисунок 4.10 – Принцип зв'язку виробничого календарного плану та плану виконання робіт [6]

Для прикладу у Momentum передбачене як ручне так і автоматичне планування. При ручному плануванні, система просто розділяє виробничі замовлення на частини відповідно до означених сегментів та процесів, які до них прив'язані, а планувальник вручну призначає (закріплює) їх до необхідних ресурсів (робочих центрів). У автоматичному режимі це робиться відповідною програмою. Заплановані операції (Job згідно стандарту) можна відобразити як у вигляді списку так і у вигляді діаграми Ганта (рис.4.11).

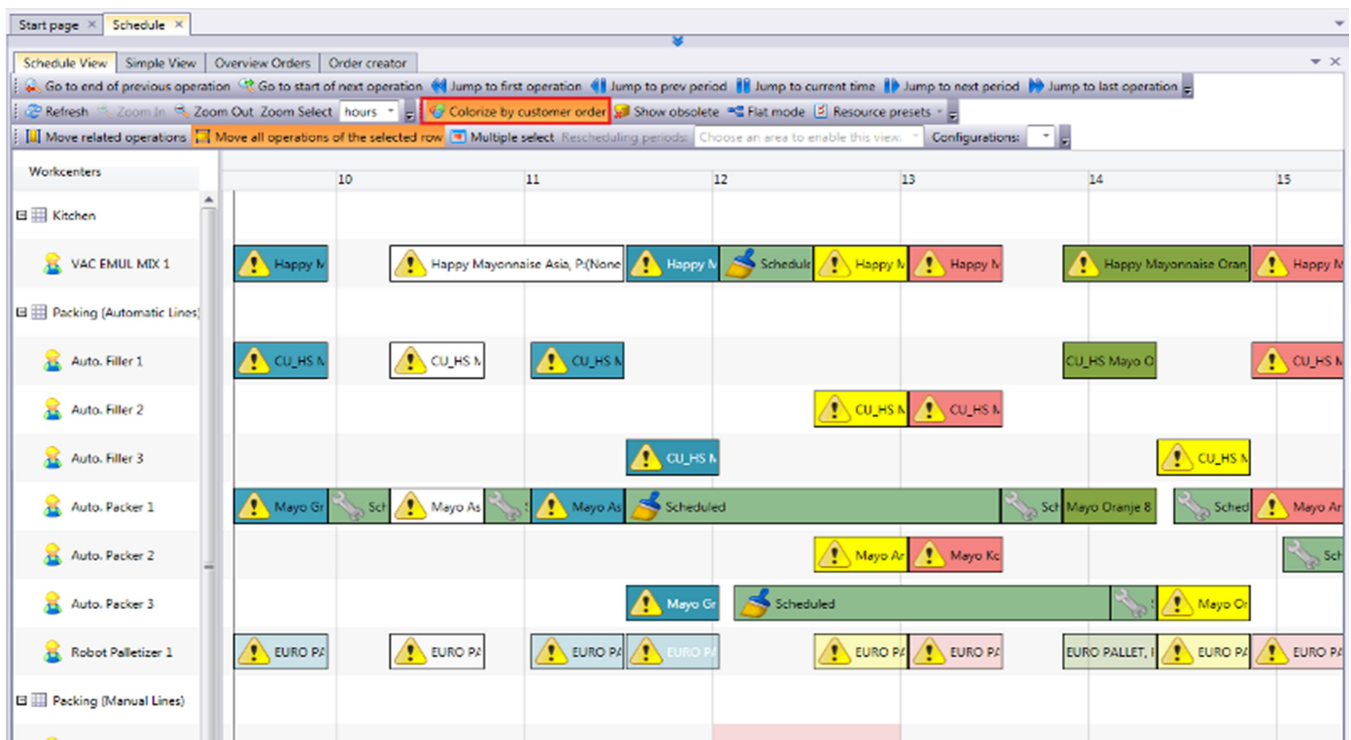


Рисунок 4.11 – Приклад графічного відображення розподілу операцій по робочим центрам в часі [16]

Слід зауважити, що заплановані операції автоматично не запускаються в час назначення, ця функція по керуванню означена іншими діяльностями, зокрема керування виконанням. Детальніше про планування наводиться в наступних лекціях.

4.5. Диспетчерування основного виробництва

Тут відбувається керування фактичними виробничими потоками, шляхом задіяння конкретного персоналу та устаткування. Це може включати видачу завдань і, залежно від способу виробництва, планування початку партій, виробничих циклів тощо, як зазначено у детальному календарному плані основного виробництва. Тут також можна враховувати умови та задіювати ресурси, які не були заплановані при детальному календарному плануванні основного виробництва. У цій діяльності також зберігаються статус завдань і можливі непередбачувані умови.

На рис.4.12 показано приклад, коли для виконання робіт потрібно узгодити кілька різних робочих центрів, тому що вони знаходяться в ланцюжку.

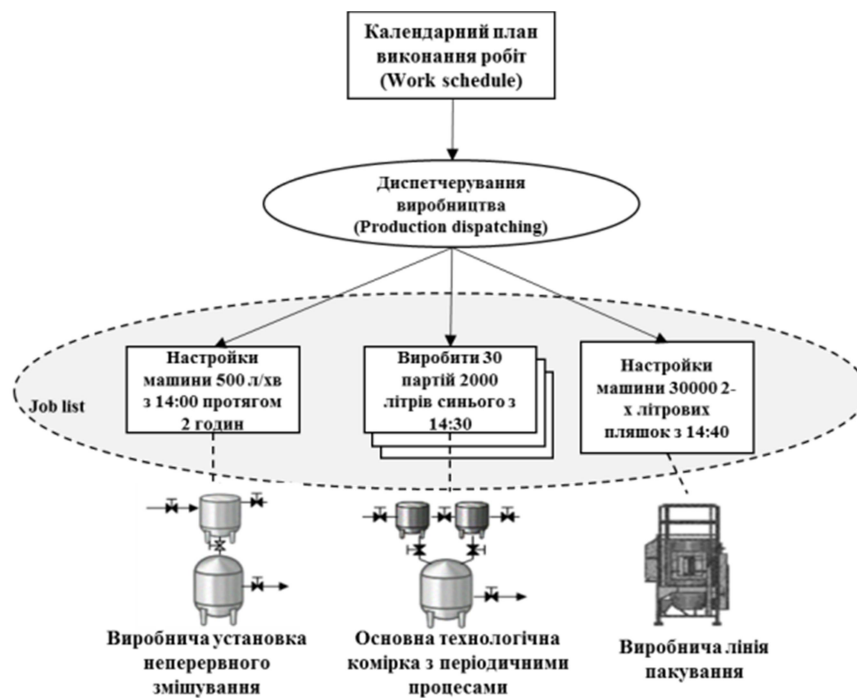


Рисунок 4.12 – Приклад схеми узгодження виконання робіт на кількох робочих центрах [6]

У Momentum, наприклад, ця діяльність може виконуватися через інформаційні вікна операторських екранів, автоматичну відправку завдань на устаткування, відправка параметрів і т.п. Для автоматизації цих процесів будується діаграма маршрутів, яка поєднує робочі центри між собою. Ці маршрути враховуються за необхідності автоматичних операцій запуску та зупину. Детальніше про диспетчерування дається в наступних лекціях.

4.6. Керування виконанням основного виробництва

Ця діяльність спрямовує завдання на рівень 2 (АСКТП), керує та контролює його виконання шляхом відправлення команд та отримання стану. Також тут доступна інформація з попередніх запусків, яка може використовуватися для локальної оптимізації виробництва. Для збору даних з устаткування та керування ним можуть використовуватися різні способи, як ручні так і автоматичні. У стандартах ISA-95/IEC-61512 цей зв'язок не означений.

У Momentum керування виконанням проводиться через зв'язок з АСКТП та використанням операторських екранів. Зв'язок з АСКТП проводиться через сервер DataCenetr та драйвери вводу/виводу (наприклад OPC UA), про які вже говорилося в попередній лекції. Для цього використовується нижній рівень устаткування (Equipment) та їх параметри (рис.4.12). Тобто параметри устаткування є відображенням реального їх стану та команд керування.

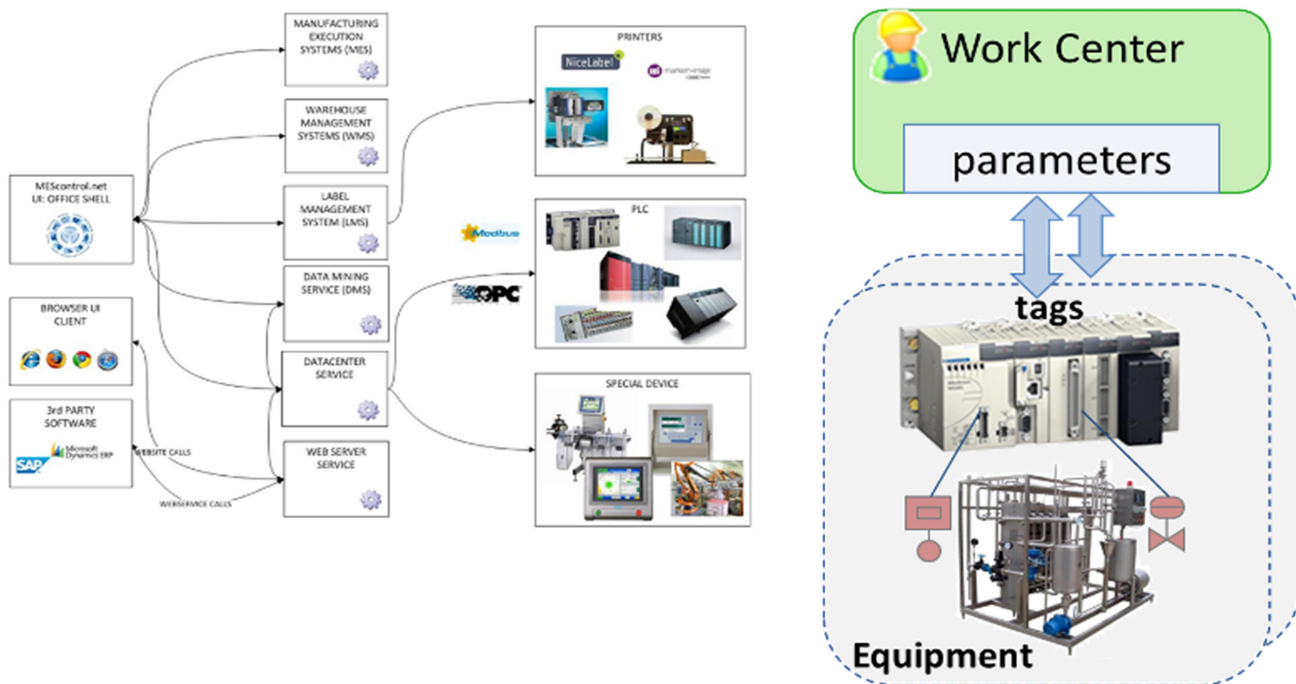


Рисунок 4.13 – Приклад зв'язку з АСКТП через означення устаткування та параметри

Операторські екрани (рис. 4.14) надають можливість оператору контролювати та керувати операцією, дізнаватися різноманітну інформацію про саму операцію, та все що з нею пов'язане.

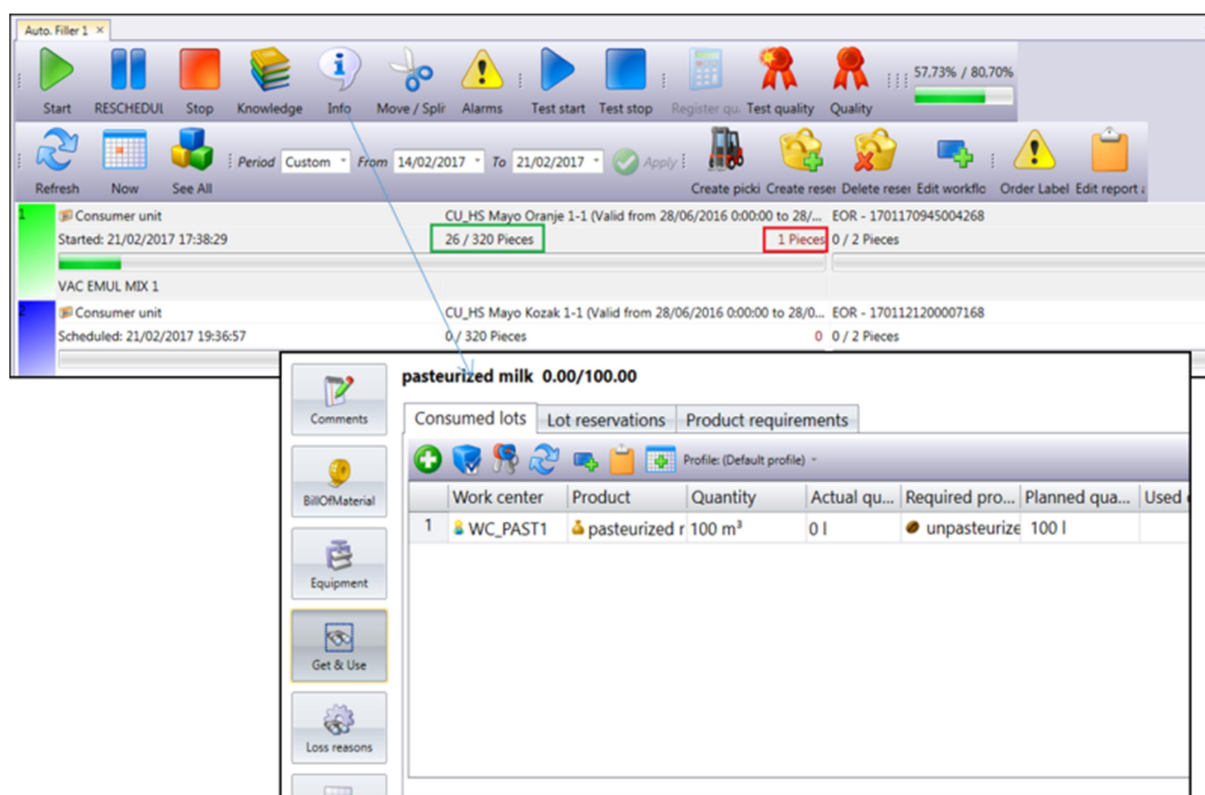


Рисунок 4.14 – Приклад керування виконанням через операторські екрани

Детальніше про керування виконанням дається в наступних лекціях.

4.7. Збір та накопичення даних основного виробництва

Ця діяльність забезпечує збір та накопичуються даних про технологічні процеси та виробничі запити. Дані можуть включати показання датчиків, стан устаткування, дані про події, введені оператором значення, дані про транзакції, дії оператора, повідомлення, результати розрахунків за моделями та інші дані, важливі для виготовлення продукції. Тобто дані, що дозволяють підприємству відстежувати як було виконано виробництво та отримувати відповідну статистику по виробництву у вигляді звітів.

У Momentum накопичення даних реалізовано через модуль та сервер DMS. Цей модуль дозволяє писати дані через означення користувачем схеми відповідно до реляційного формату (рис.4.15). Ці дані далі можна використовувати в різноманітних діяльностіх через створення власних скриптів на WorkFlow, або виводити на дисплей оператора. Модуль також використовується іншими модулями для фіксації різноманітних операцій, що не передбачає явне означення схеми.

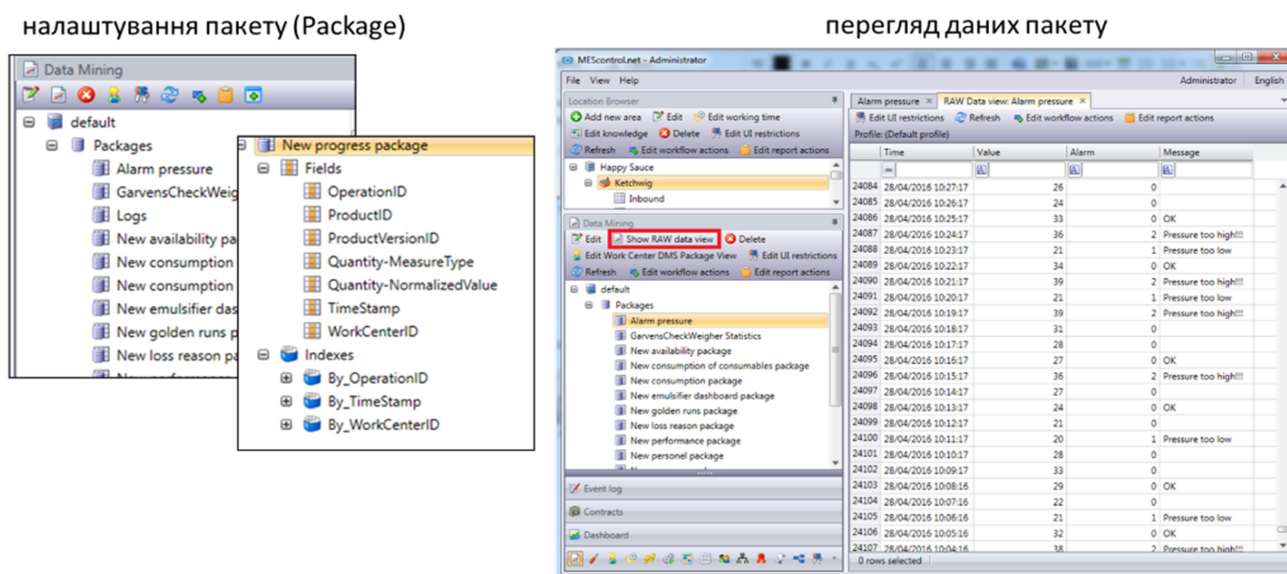


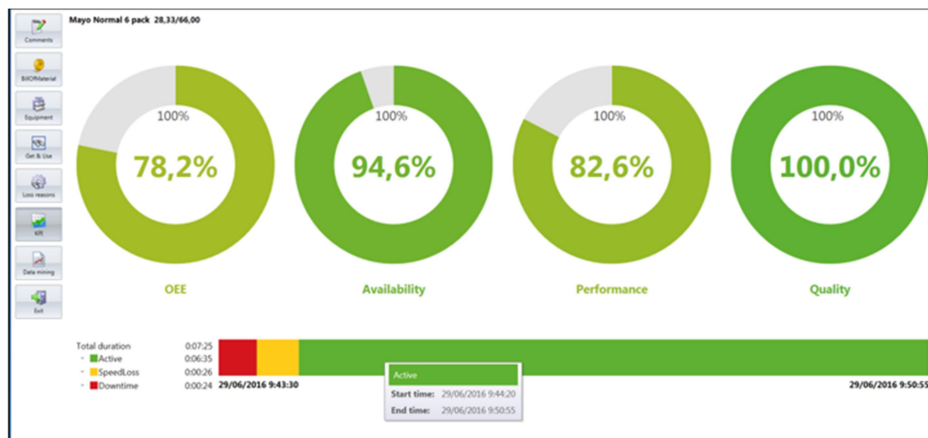
Рисунок 4.15 – Приклад налаштування та використання накопичення даних в Momentum

Детальніше про збір та накопичення даних дається в наступних лекціях.

4.8. Аналіз ефективності основного виробництва

Ця діяльність передбачає аналіз результатів інших діяльностей основного виробництва з використанням ключових показників ефективності (KPI). Ці показники можна використовувати для ефективного керування в реальному часі та після-виробничого аналізу.

У Momentum, наприклад, один з популярних показників для робочих центрів OEE (Overall equipment effectiveness, загальна ефективність устаткування) реалізований на системному рівні. Тобто проектувальник для робочого центру означає необхідні поля для вимірювання якісної та неякісної продукції, уся інша інформація береться з налаштувань робочого центру та його стану. OEE та його складові видимі на дисплеї оператора в реальному часі, що дає змогу оператору робочого центру вчасно приймати рішення щодо покращення ефективності (рис.4.16).



OEE = Availability * Performance * Quality

Availability = (WorkingTime – DownTime) / WorkingTime

Quality = Good Count / Total Count

Performance = Actual performance / planned performance

- Actual performance = Actual quantity / Actual duration in second
- Planned performance = Planned quantity / Planned duration in second

Рисунок 4.16 – Приклад вікна з виробничими KPI [16]

Детальніше про аналіз ефективності основного виробництва дається в наступних лекціях

4.9. Стеження за основним виробництвом

Інформація про проходження виробничих операцій повинна бути передана на рівень 4, щоб бізнес-системи змогли оновити календарні плани для відповідності поточній ситуації. Підготовка цієї відповіді від основного виробництва проводиться в процесі стеження. Тут формується узагальнена інформація про фактичне використання персоналу, устаткування та матеріалів у виробництві, а також про фактично вироблений продукт. Ця інформація передається

у формі, означеній першою та другою частинами стандарту. Дані, наведені тут, також використовуються для вдосконалення детального календарного плану основного виробництва.

У Momentum стеження відбувається через "Track & Trace" із модуля WMS (рис.4.17). Цей модуль дозволяє простежити історію для виготовлення конкретної партії продукту або сировини.

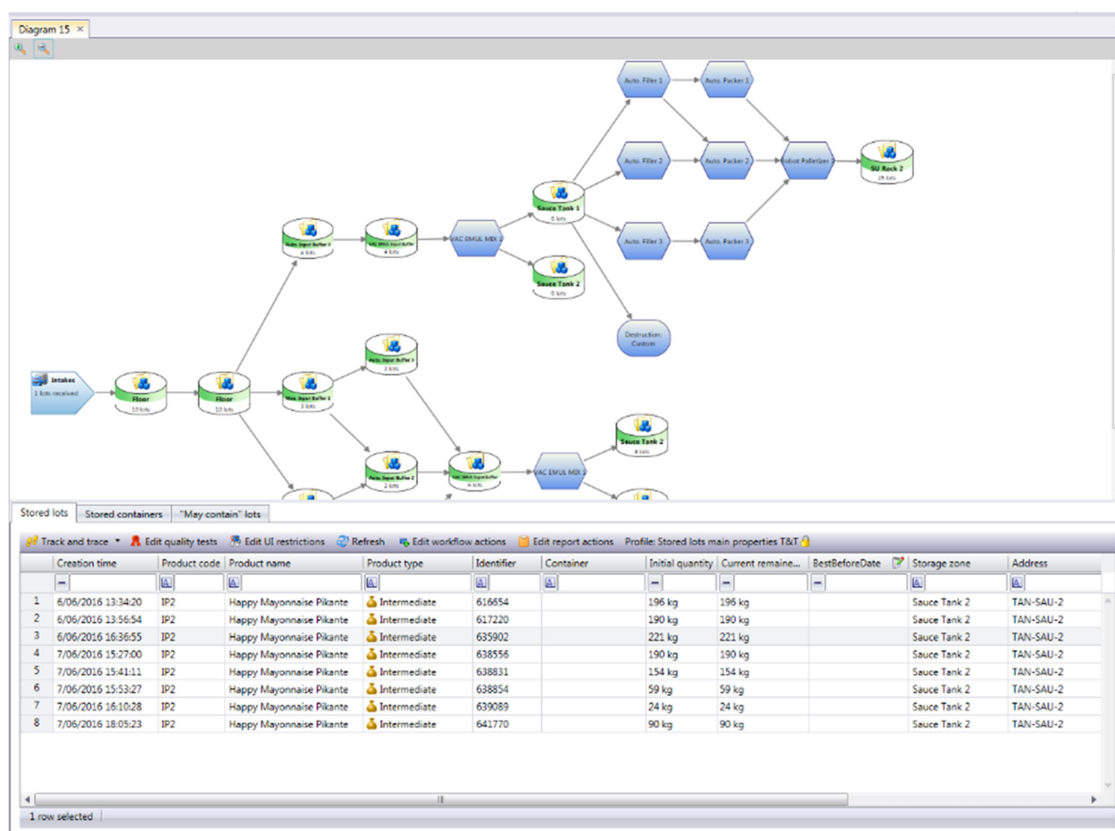


Рисунок 4.17 – Приклад звіту простеження в Momentum в "Track & Trace" із модуля WMS [16]

Детальніше про стеження за основним виробництвом дається в наступних лекціях.

Контрольні питання

1. Перерахуйте і коротко розкажіть про діяльності керування операціями основного виробництва. Наведіть приклад їх реалізації в інформаційній системі MOM.
2. Розкажіть про керування означенням продукту.
3. Чим сегмент процесу відрізняється від сегменту продукту?
4. Розкажіть як продукти означуються через сегменти продукту.
5. Розкажіть про зв'язок технології виробництва і устаткування.
6. Які діяльності відносяться до керування виробничими ресурсами?
7. Поясніть на прикладі яку інформацію надає звіт про виробничі потужності.
8. Розкажіть про основне призначення детального календарного планування.
9. Розкажіть про основне призначення диспетчерування основного виробництва.

10. Розкажіть про діяльності керування виконанням основного виробництва.
11. Розкажіть про діяльності щодо збору та накопичення даних основного виробництва.
12. Розкажіть про діяльності щодо аналізу ефективності основного виробництва.
13. Розкажіть про діяльності щодо стеження за основним виробництвом.

5. Означення устаткування

5.1. Ієрархія устаткування

Наведені в минулій лекції діяльності виконуються з прив'язкою до різних виробничих ресурсів. Для основного виробництва потрібні матеріали (з чого і що виготовляється), устаткування (на чому відбувається виробництво) та персонал. Для стандартів ІЕС 61512 [10] та ІЕС 62264 [3] спільним є представлення моделі рольової ієрархії устаткування (рис.5.1). Відповідно до цієї ієрархії кожне *устаткування (equipment, обладнання)* виконує певну роль у процесі виготовлення продукції. Ієрархія устаткування є однією із наскрізних моделей для інтегрування усіх рівнів керування. Вона дає можливість зробити декомпозицію (розбивку на менші елементи) усіх діяльностей, та зосереджуватися на них при реалізації. У цій лекції зосередимося на цьому типі ресурсів.

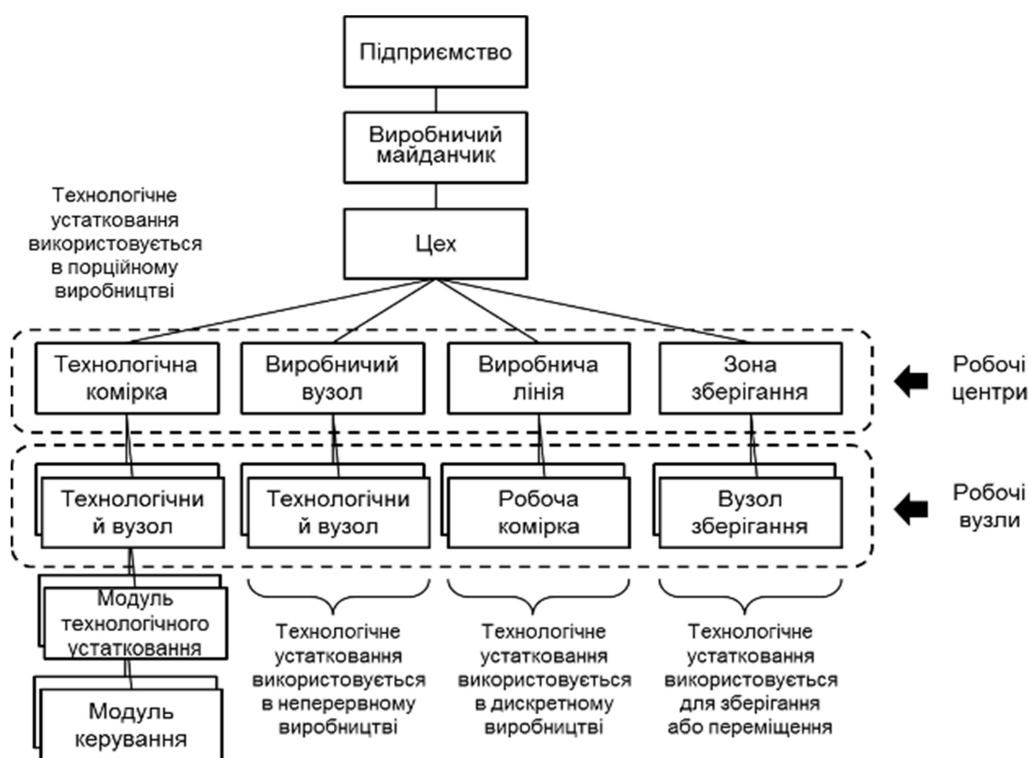


Рисунок 5.1 – Рольова ієрархія устаткування підприємства [3]

Термін «рольова» застосовується до моделі устаткування з метою позначення того, що ієрархія означена з точки зору функцій та діяльностей, які можуть виконувати ці об'єкти. Якщо на місце одного устаткування ставиться інший екземпляр, але при цьому воно виконує ту саму роль, то в цій моделі це вважатиметься тим самим устаткуванням. Якщо ж це устаткування розглядається з точки зору конкретного активу з певним ідентифікаційним номером (з метою технічного обслуговування), то для нього використовується інша модель – ієрархія фізичних активів (Asset).

Принципи виділення устаткування для нижніх рівнів описано у роботі [Практичні рекомендації до реалізації елементів стандарту ІЕС 61512 в програмному забезпеченні систем керування \[19\]](#). Функції рівня MOM оперують, як правило, на рівнях від робочих вузлів до цехів, або виробничих майданчиків. У той же час діяльність 4-го рівня керування (ERP) зосереджена навколо підприємства та виробничих майданчиків. **Підприємство** (Enterprise) займає найвищий рівень в ієрархії устаткування, функції якого зосереджені на організаційних та фінансових питаннях. Виробниче підприємство також відповідає за означення повного переліку того, які продукти, як і на яких виробничих майданчиках можуть і будуть виготовлятися. **Виробничий майданчик** (Site) – це фізичне, географічне або логічне об'єднання виробничих потужностей в межах одного підприємства. Підприємство може мати кілька виробничих майданчиків, які можуть знаходитися в різних локаціях, що об'єднані територіально і організаційно. Як правило, об'ємне ERP-планування проводиться для завантаження виробничих майданчиків, або цехів. Але на рівні 4 може відбуватися також оперативне календарне планування з використанням устаткування нижчого рівня. Тобто, як правило, календарний план виконання операцій (наприклад, виготовлення конкретної продукції) рівня ERP спускається на виконання для виробничого майданчика.

Цех (Area) – є частиною виробничого майданчику, який може виготовляти певний набір продуктів, напівпродуктів або сервісів. Цеха, як правило, мають чітко означені виробничі потужності, які використовуються для оперативного-календарного планування рівня 3 (MOM) та рівня 4 (ERP). Операції виробничого майданчика при детальному плануванні формують робочі замовлення, які виконуються в конкретних цехах.

Робочі центри (Work Centers) – це елементи ієрархії технологічного устаткування в межах цеху, які роблять або зберігають певний напівпродукт. Робочі центри мають чітко означені продуктивності та потужності, і вони використовуються для функцій рівня 3. Потужність та продуктивність робочих центрів також часто використовуються як вхід для бізнес-процесів рівня 4. Саме в робочих центрах проводяться необхідні заплановані завдання, для яких означуються роботи, які треба проводити. У свою чергу, робочі центри мають устаткування для виконання завдань, які називають **робочими вузлами** (Work Unit). Планування та виконання операцій повинно враховувати тип виробництва, яке використовується в конкретному робочому центрі. Стандарт передбачає використання конкретних термінів для робочих центрів та робочих вузлів, які застосовуються до порційного, неперервного чи дискретного виробництва, а також для зберігання та переміщення матеріалів. Загальні терміни «робочий центр» та «робочий вузол» використовуються в стандарті лише в тих випадках, коли його тип для цілі обговорення не має значення.

5.2. Типи робочих центрів

У стандарті передбачені наступні типи робочих центрів і робочих вузлів (див.рис.3):

- **Виробнича установка** (Production Unit) і **технологічний вузол** (Unit) для неперервного виробництва;
- **Виробнича лінія** (Production Line) та **робоча комірка** (Work Cell) для операцій дискретного виробництва;
- **Технологічна комірка** (Process Cell) та **технологічний вузол** (Unit) для операцій порційного виробництва;
- **Зона зберігання** (Storage Zone) та **вузол зберігання** (Storage Unit) для операцій збереження та переміщення матеріалів.

Виробнича установка (Production Unit) неперервного типу, як правило, включає все технологічне устаткування, що необхідне для сегменту неперервного виробництва, яке працює відносно автономно. Він, як правило, перетворює, відокремлює або реагує на один або кілька вхідних матеріалів для виготовлення проміжних або кінцевих продуктів. Виробнича установка часто виділяють за основним технологічним процесом або сімейством напівпродуктів, що виготовлюються на ньому.

Приклад налаштування робочого центру типу "виробнича установка" для MOM Momentum (BrightEye) показаний на рис.5.2. Для нього вказуються технологічні процеси, які можуть виконуватися, виробнича продуктивність (задається двома параметрами Capacity та Time period), buffer Duration, що вказує на додаткове ємнісне запізнення між подачею матеріалу на вхід та формування виходу. Ці параметри враховуються при детальному календарному плануванні. Зокрема технологічний процес дає можливість вибрати робочий центр, який забезпечує його проходження на певному етапі виготовлення конкретного продукту, а часові налаштування - максимальну продуктивність та затримки.

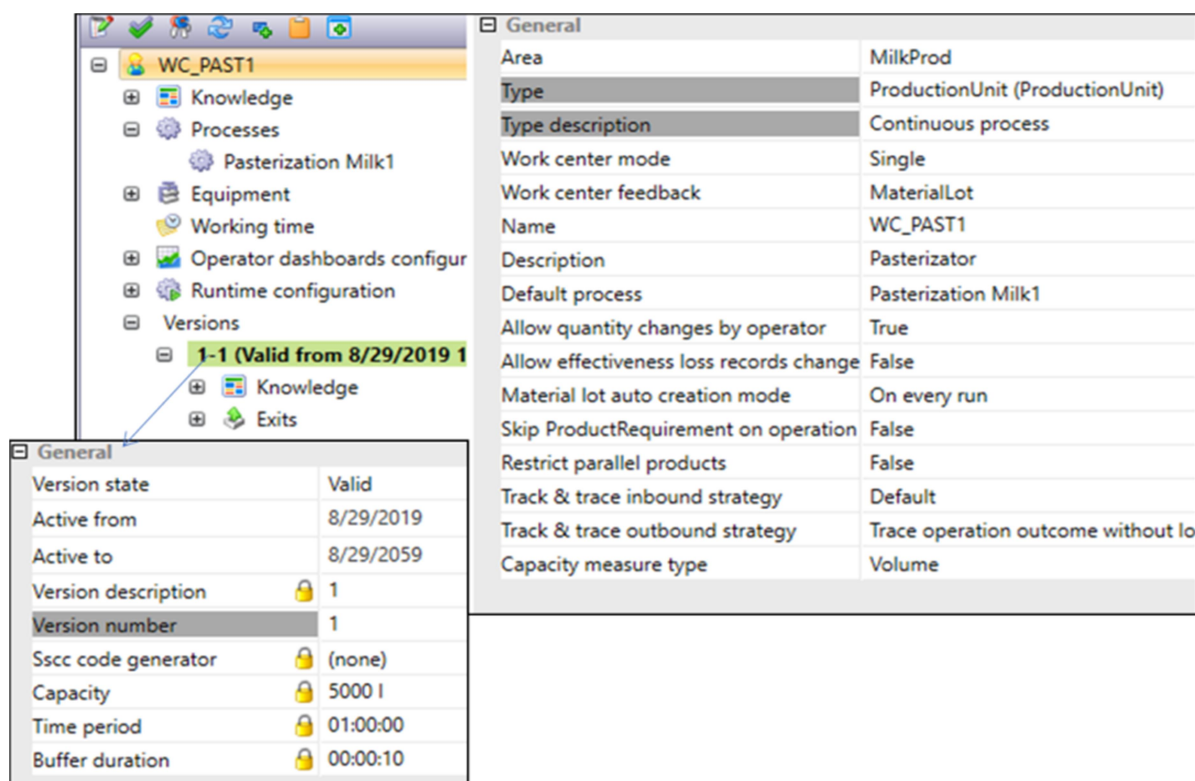


Рисунок 5.2 – Приклад налаштування робочого центру типу Виробнича установка (Production unit)

Виробничі лінії (Production Line) та робочі комірки (Work Cell) використовуються для дискретних виробничих процесів. Робочі комірки зазвичай виділяються лише тоді, коли є гнучкість у маршрутизації матеріальних потоків всередині виробничої лінії. Виробничу лінію часто виділяють за ознакою основного технологічного процесу. Виробнича лінія та робочі комірки мають чітко означені виробничі продуктивності та пропускну спроможність, і вони використовуються для функцій рівня 3. Приклад налаштувань виробничої лінії для дискретних процесів фасування показаний на рис.5.3.

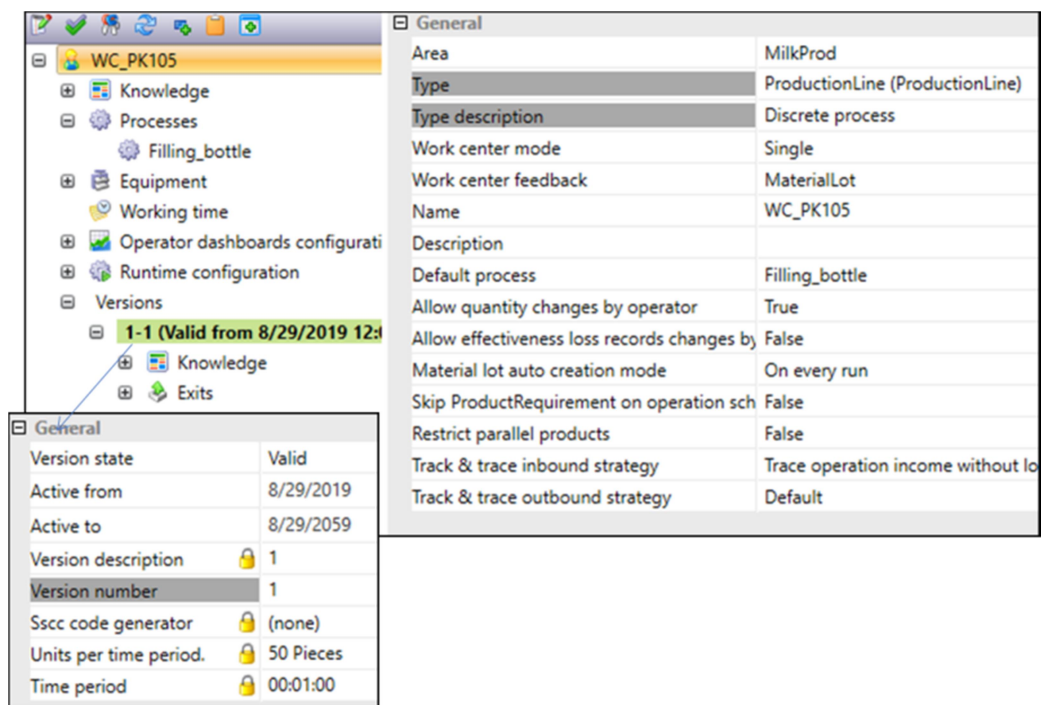


Рисунок 5.3 – Приклад налаштування робочого центру типу Виробнича лінія (Production line)

Технологічні комірки (Process Cell) та технологічні вузли використовуються для проведення технологічних процесів порційного виробництва. Якщо існує достатня гнучкість для маршрутизації продукту в межах технологічної комірки, тоді для рівня MOM також означаються і технологічні вузли. Означення технологічних комірок та технологічних вузлів наводяться в МЕК-61512-1. Технологічну комірку часто виділяють за основним технологічним процесом або сімейством напівпродуктів, що виготовлюються на ньому. Технологічні комірки та технологічні вузли мають чітко означені виробничі продуктивності та потужності порційного виробництва, які використовуються функціями Рівня 3. На рис.5.4 показаний приклад налаштування технологічної комірки, для якої означаються мінімальні і максимальні розміри партій та тривалість партії (Batch Time). Ці налаштування використовуються при детальному календарному плануванні для розрахунку необхідного часу для виробництва партії, і кількості необхідних партій.

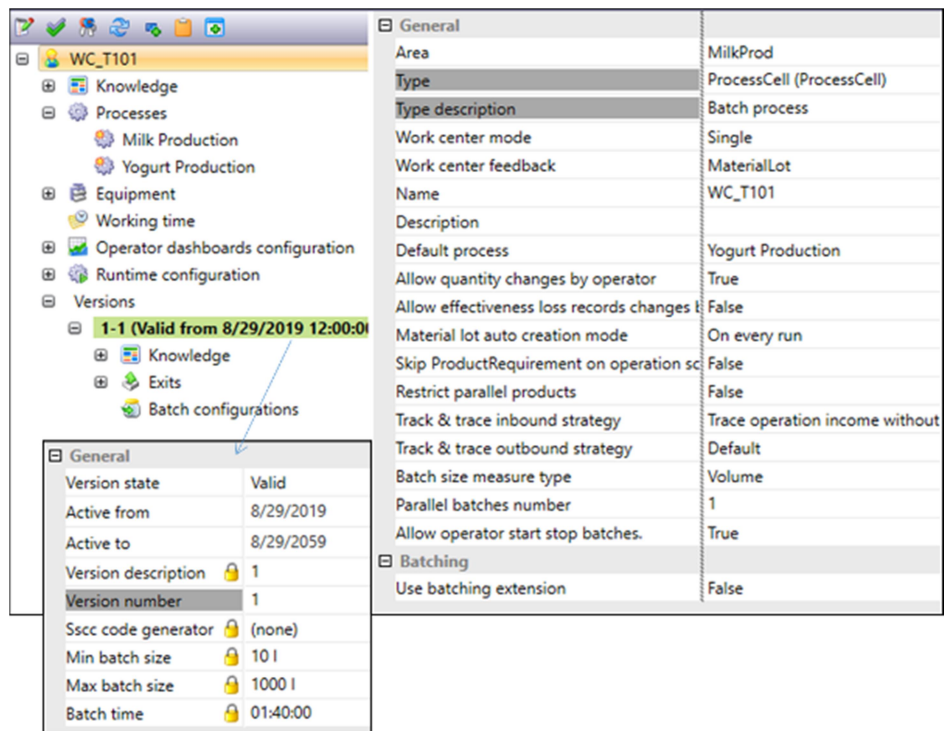


Рисунок 5.4 – Приклад налаштування робочого центру типу Технологічна комірка (Process Cell)

Зони зберігання та вузли зберігання належать до технологічного устаткування найнижчого рівня, що відповідає за зберігання та рух матеріалів. Зона зберігання зазвичай забезпечує отримання, зберігання, повернення, рух та відвантаження матеріалів. Функції зони зберігання можуть включати рух матеріалів від одного робочого центру до іншого в межах одного підприємства або між підприємствами. Вузли зберігання, як правило, знаходяться на більш низькому рівні ієрархії, ніж зона зберігання. Фізичне розташування вузла зберігання може змінюватися з часом; наприклад, у зв'язку з переміщенням продукції. Вузли зберігання можуть бути прив'язні до певного матеріалу, групи матеріалів або способу зберігання.

Таблиця 5.1 Приклади зони зберігання та вузла зберігання

Зона зберігання	Вузол зберігання
Склад	Стійка/ стелаж /слот
Парк причепів	Причіп, контейнер
Група танків	Танк, секція труби, колектор, буфер
Група силосів	Силос, секція труби, колектор, буфер
Причал, пристань	Корабель, корабельний трюм, контейнер, бочка, танк
Грузова станція, депо	Залізничний вагон
Зона тимчасового	Піддон, бочка

Зона зберігання	Вузол зберігання
зберігання	

На рис.5.5 наведений приклад налаштування зони та вузла зберігання. Для вузла зберігання вказується місткість а також правила зберігання (фіксації руху речовини): Storage Rule = FIFO/LIFO/Proportional. Це дасть змогу правильно проводити планування та фіксацію переміщення речовини.

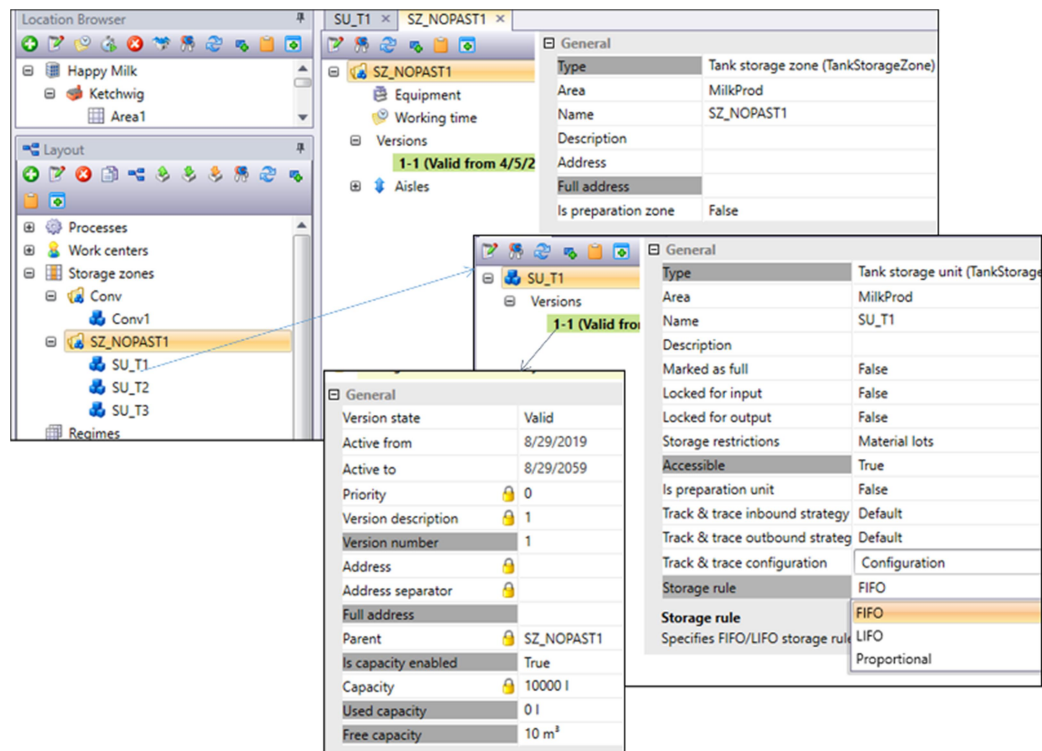


Рисунок 5.5 – Приклад налаштування зони зберігання (Storage zone) та вузлу зберігання (Storage Unit)

Стандарт передбачає можливість розширення, тобто наявності в ієрархії устаткування інших типів робочих центрів, наприклад лабораторія (використовується в операціях з контролю якості), парк мобільного технологічного устаткування, склад невикористаного технологічного устаткування (використовується в операціях з технічного обслуговування), транспортний центр. Коли додається новий тип, він повинен підтримувати ті ж зв'язки в ієрархії, що і означені типи робочих центрів (у межах цеху та містять робочі вузли).

5.3. Приклад моделі устаткування

Набір взаємопов'язаного устаткування в рольовій ієрархії покажемо на прикладі молочного підприємства «Happy Milk», який виготовляє різноманітну молочну продукцію.

Виробнича частина підприємства складається з різних виробничих і обслуговуючих виробництво цехів (рис.5.6). Бордовим кольором виділені назви процесів, що проробляються з матеріалами, чорним - використовуване устаткування.

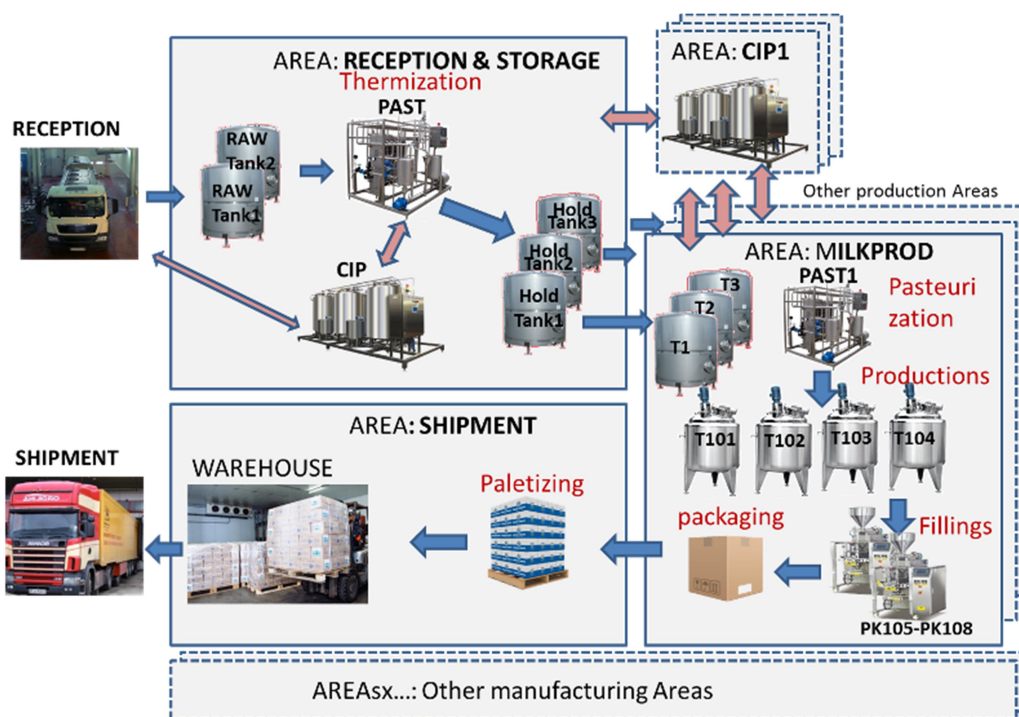


Рисунок 5.6 – Спрощена схема матеріальних потоків виробничих потужностей "Happy Milk"

Сировина (сире молоко з ферм) надходить на підприємство в молоковозах на RECEPTION. Перед відвантаженням сировина перевіряється в лабораторіях, після чого надходить на пост відвантаження в танки сирого молока RAW Tank1 і RAW Tank2, які є вузлами зберігання. Молоко як сировина використовується для різних типів молочної продукції. В цеху RECEPTION & STORAGE проводиться його попередня очистка, термізація (виробничий вузол PAST), нормалізація і обробка для тимчасового зберігання в танках. Оброблене молоко різної жирності зберігається в танках зберігання (holding tanks), які є вузлами зберігання, звідки подається в інші цехи заводу. Цех включає в себе станцію CIP (технологічна комірка) для очищення устаткування цеху а також молоковозів. Цех MILKPROD призначений для виробництва продуктів з незбираного молока: молока і йогуртів різної жирності. Продукція розфасовується в різні види упаковок (у робочих комірках – фасувальних автоматах), після чого укладається в коробки (у робочих комірках – палетайзери), які передаються на склад. Крім цього цеху на підприємстві є і інші виробничі цехи, наприклад з виробництва сиру, масла, сухого молока. У зоні зберігання SHIPMENT (склад) упакована продукція вантажиться на палети і зберігається до моменту відвантаження.

Цех MilkProd призначений для приготування молочних продуктів з незбираного молока (молоко різної жирності, кефір, сметана, йогурти) і їх розфасовку в різну тару. Оброблене термізоване молоко з цеху приймання певної жирності і складу надходить в танки зберігання SU_T1..SU_T3, що знаходяться в зоні зберігання SZ_NOPAST1. При необхідності в молоко додають додаткові інгредієнти і вершки в залежності від вимог до сировини для конкретного продукту. Далі ця молочна суміш проходить через пастеризаційну установку WC_XX_PAST1, де проходить процес пастеризації при заданих технологічних параметрах, означених у рецепті продукту. Пастеризоване молоко (суміш) надходить в один або кілька танків для приготування WC_T101 ... WC_T102. У танках відбувається його охолодження, введення, при необхідності, визначеного в рецепті кількості мікроорганізмів (закваски), сквашування і, в деяких випадках, додаткова термічна обробка. Приготований продукт вивантажується з танків через охолоджувачі на машини розливу, в залежності від необхідної тари. Процес пастеризації відбувається одночасно із завантаженням, процес вивантаження одночасно з розливом. Розлита в тару продукція упаковується в коробки або поліетиленові блоки і подається транспортером на склад готової продукції.

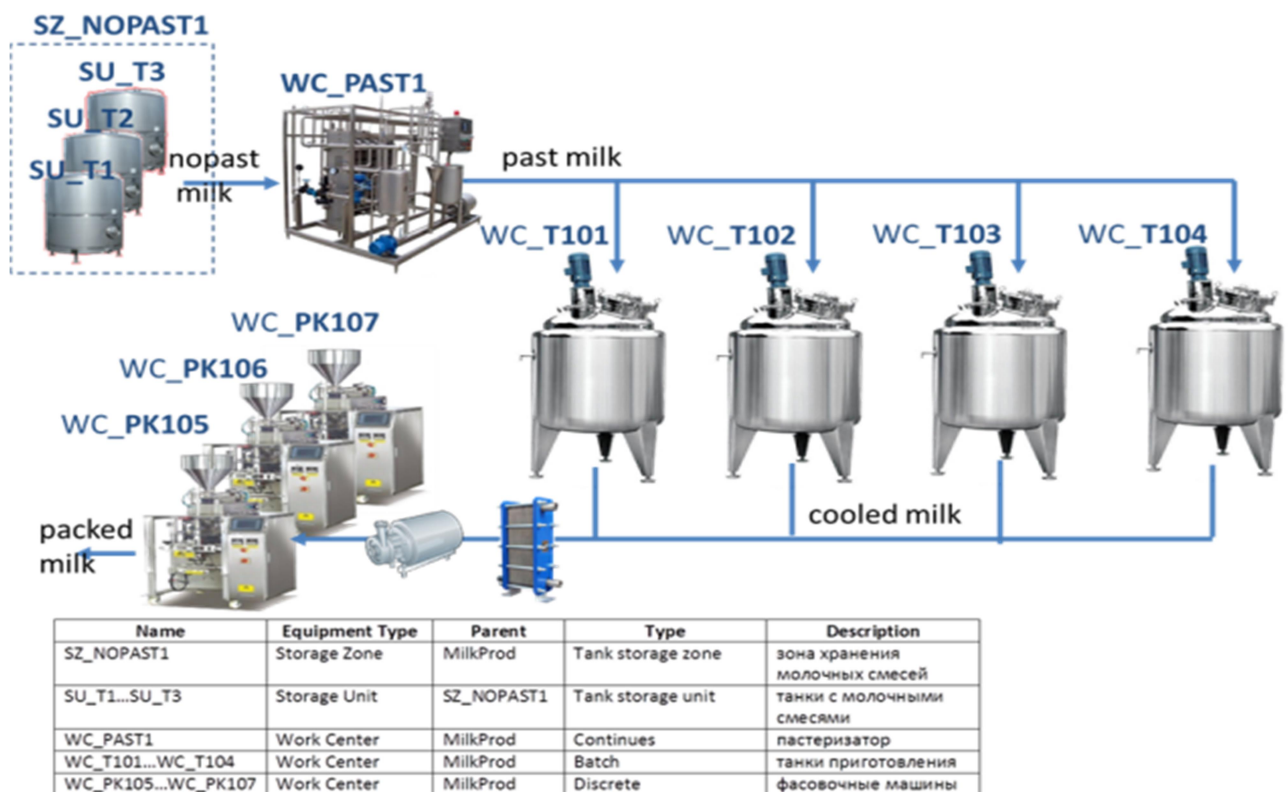


Рисунок 5.7 – Цех MilkProd

На рис.5.8 показаний фрагмент ієрархії устаткування з наведеного прикладу, реалізований у MOM-системі Momentum. Верхні три рівні (від підприємства до цеху) використовуються в

основному для навігації, означення місцезнаходження, календарів та робочих годин. Інші рівні обмежуються в Momentum, як правило, робочими центрами та нижньорівневим устаткуванням. Останні використовуються для зв'язку робочих центрів з рівнем АСКТП (на рис.5.8 «EQ_PAST1»). Параметри устаткування можуть мати за джерело даних змінні з Серверів OPC UA (на рис.5.7 FIQ1).

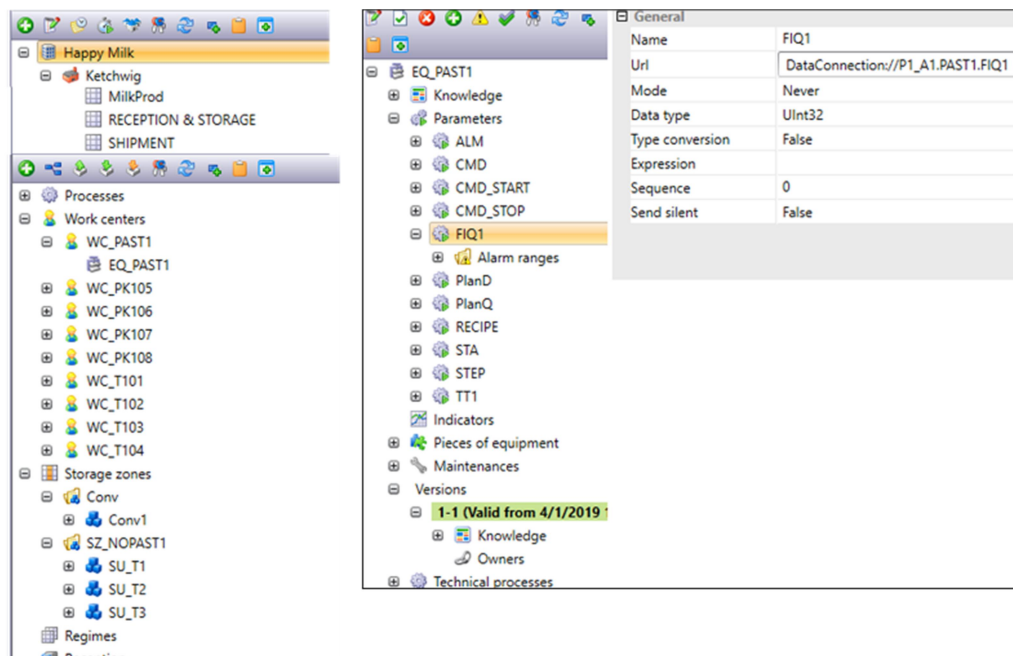


Рисунок 5.8 – Приклад ієрархії устаткування "Happy Milk"

З метою виконання функцій диспетчерського керування та планування для устаткування вказуються взаємозв'язки (рис.5.9), де для кожного зв'язку означаються різноманітні властивості.

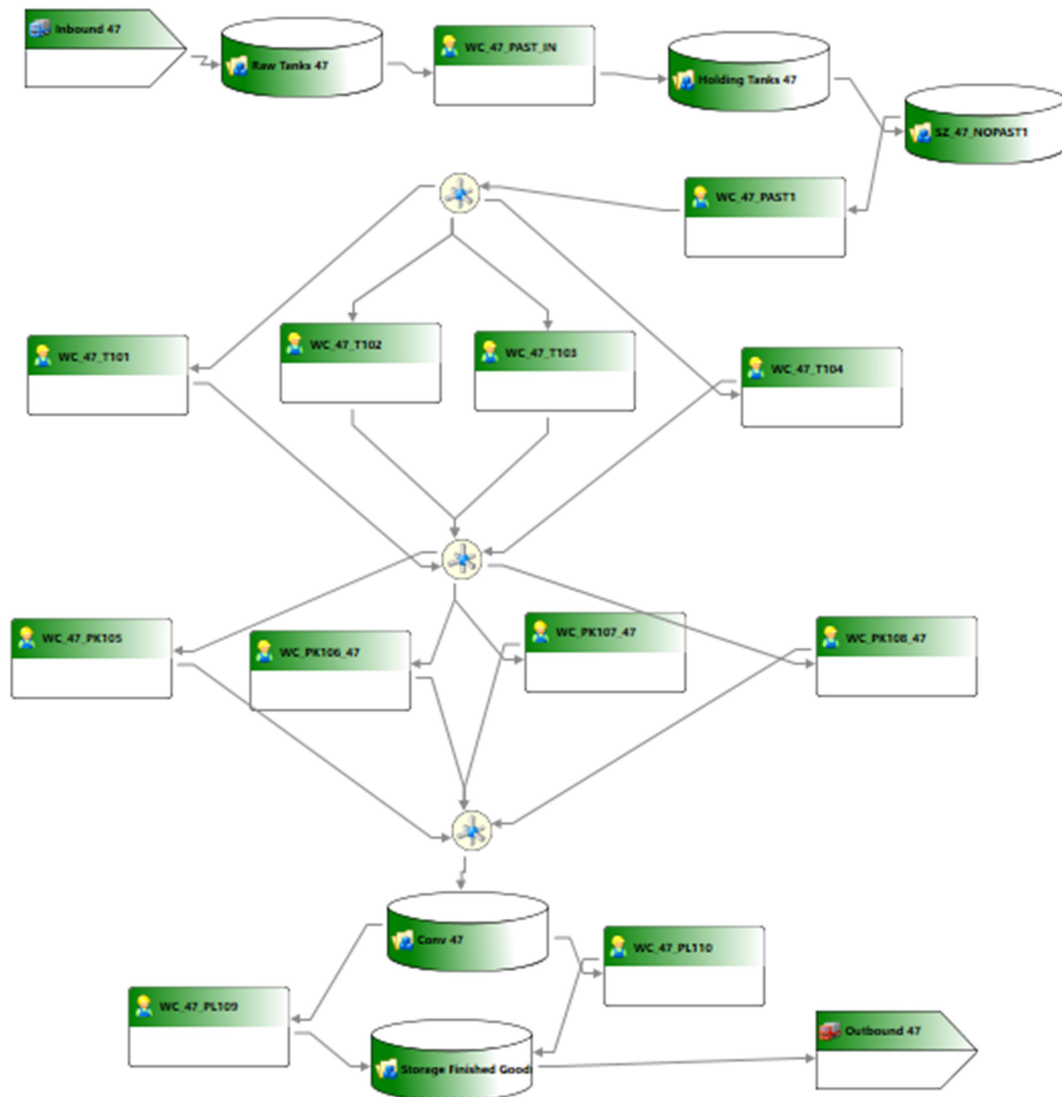


Рисунок 5.9 – Приклад означення взаємозв'язків між робочими центрами

Контрольні питання

1. Розкажіть про рольову ієрархію устаткування підприємства.
2. Яке призначення устаткування верхніх 4-рьох рівнів ієрархії?
3. Яке призначення робочих центрів?
4. Розкажіть які є типи робочих центрів відповідно до стандарту ІЕС 62264 та чим вони відрізняються?
5. Розкажіть про основні налаштування робочих центрів.
6. Покажіть на прикладі якогось виробництва означення устаткування.

6. Означення продукту

6.1. Зв'язок означення продукту з іншими діяльностями

Керування означенням продукту – це набір діяльностей, які керують інформацією рівня 3, що потребується для виготовлення продукту, включаючи виробничі інструкції. Вона повинна бути відомою як на рівні 4 для потреб планування так і на рівні 3 для детального календарного планування, диспетчерування та керування виконанням (рис.6.1).



Рисунок 6.1 – Інтерфейси моделі керування означенням продукту [6]

6.2. Функції керування означенням продукту

Завдання керування означеннями продукту можуть включати:

- керування документами, такими як шаблонне означення роботи, виробнича інструкція, рецепт, структурні діаграми продукту та інших;
- керування новими означеннями продуктів;
- керування змінами у означеннях продукту;
- надання виробничої інструкції персоналу чи іншим видам діяльності;
- підтримання можливих детальних виробничих маршрутів для продукції;
- забезпечення маршруту до виробничих операцій на рівні деталізації, що вимагається виробничими операціями;
- керування обміном інформацією про означення продукту з функціями рівня 4;

- оптимізація правил виробництва продукції на основі аналізу технологічних процесів та результатів виробництва;
- створення та підтримання правил місцевого виробництва пов'язаних з продукцією, таких як очищення, пуск та відключення;
- керування означеннями ключових показників ефективності (KPI), пов'язаних з продукцією та виробництвом.

6.3. Сегмент продукту

Існує три основні області інформації, необхідні для виробництва конкретного продукту, які мають кілька точок перетину (див. рис.6.2). *Виробнича інструкція для продукту* (Product production rules) – це інформація, яка містить вказівки на те, яким чином виготовити продукт. Прикладами виробничої інструкції є загальний, місцевий або майстер рецепт (означені в МЕК 61512-1), дані про продукт ПП (прикладний протокол), означений в ISO 10303-1, стандартна операційна процедура (SOP), стандартні умови експлуатації (SOC), маршрутизація або складання кроків на основі виробничої стратегії.

Відомість матеріалів (Bill of material) – це список усіх матеріальних ресурсів, необхідних для виготовлення продукту із зазначенням кількості. До списку можуть входити сировина, проміжні матеріали, вузли, деталі та витратні матеріали. У відомості матеріалів не вказується місце та час використання матеріалів, проте цей документ може бути організований ієрархічно, що відображає деякі етапи виготовлення продукту. До складу відомості матеріалів часто входить матеріал, який не пов'язаний з виробництвом продукту, наприклад, допоміжні матеріали для відвантаження або включена документація. Відомість матеріалів – це частина відомості ресурсів. Виробнича відомість – це підмножина відомості матеріалів, яка пов'язана з виробництвом.

Відомість ресурсів (Bill of resources) – це перелік усіх ресурсів, необхідних для виробництва продукту. До ресурсів можуть входити матеріальні ресурси, персонал, технологічне устаткування, енергетичні ресурси та витратні матеріали. Відомість ресурсів не містить конкретних етапів виробництва, проте цей документ також може бути організований ієрархічно, що відображає деякі етапи виробництва.

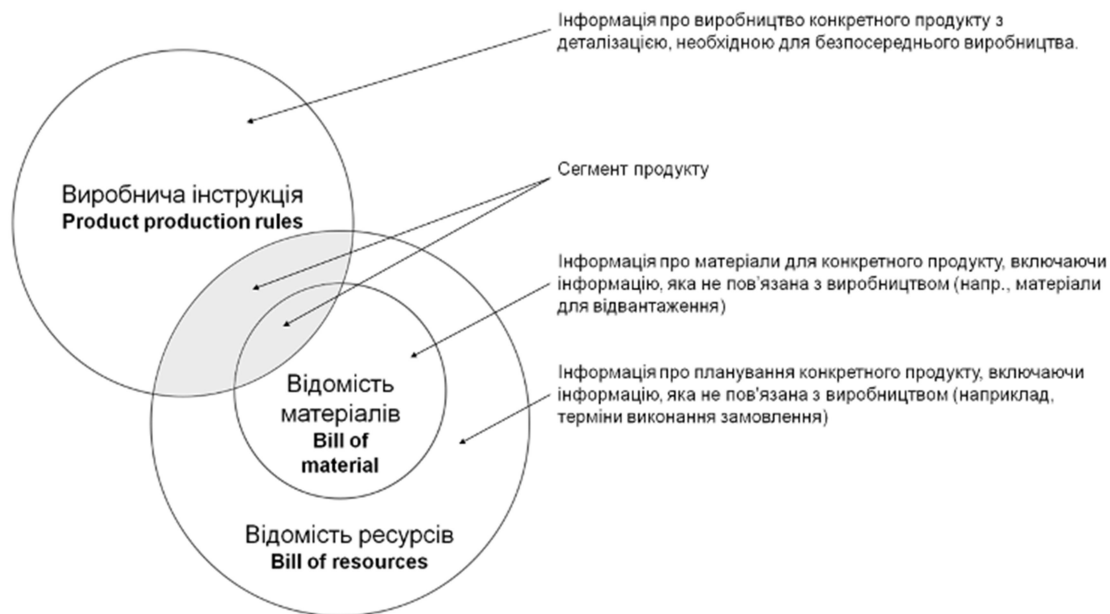


Рисунок 6.2 – Означення інформації про основне виробництво [3]

Сегмент продукту (Product Segment) – це інформація, яка відображає точки перетину між виробничою інструкцією продукту та відомістю ресурсів. Сегмент продукту описує завдання та задачі, що складаються з одного або декількох робочих елементів, які зазвичай виконуються в одному місці. Сегмент продукту – це найбільш детальний вигляд процесу керування матеріальними ресурсами, трудовими ресурсами, використанням ресурсів, затратами та якістю з метою керування виробництвом з точки зору бізнес систем. Сегмент продукту ідентифікує, посиляється або відповідає сегменту процесу. Цей взаємозв'язок проілюстрований на рис. 6.3.

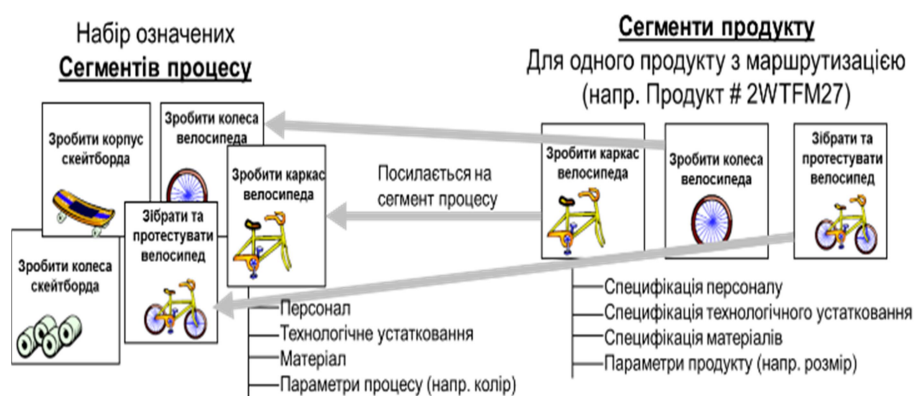


Рисунок 6.3 – Відношення сегмента продукту до сегмента процесу [3]

Сегмент продукту пов'язаний з конкретним продуктом, тоді як сегмент процесу не залежить від продукту. Сегмент процесу включає в себе певну сукупність взаємопов'язаних ресурсів (персонал, устаткування, матеріали). Сегменти продукту і процесу відображають

виробничі процеси з точки зору бізнесу і не призначені для подання детального огляду, необхідного для керування виробничими операціями в межах Рівня 3.

Сегменти продукту можуть відповідати

- стадіям технологічного процесу МЕК 61512-1, технологічним операціям, процедурам апарата або операціям з виробництва партії;
- виробничим операціям для неперервного виробництва;
- етапам збірки та діям збірки для дискретного виробництва;
- іншим типам ідентифікованих часових інтервалів для інших видів виробництва.

Сегменти продукту можуть включати в себе інші сегменти, як це показано на рис.6.4.

Кожен прямокутник відповідає окремому сегменту продукту.

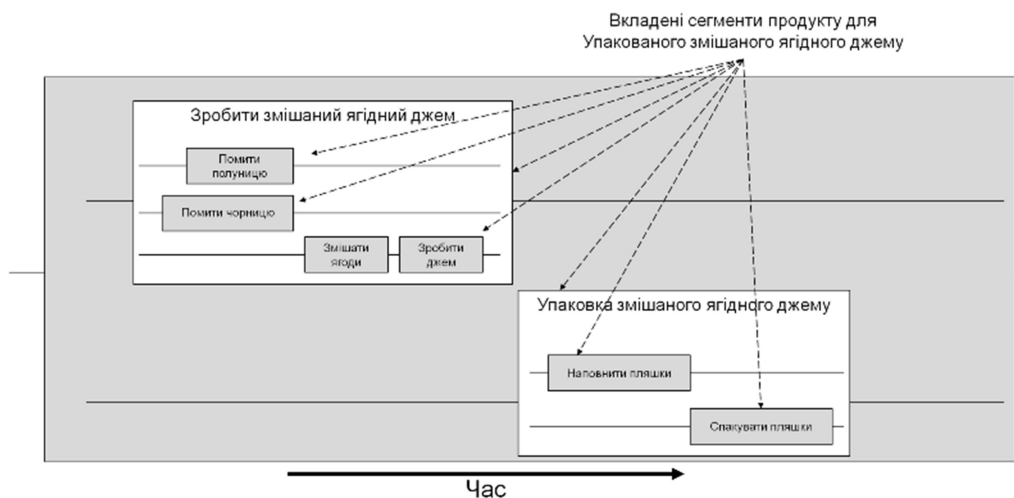


Рисунок 6.4 – Вкладеність сегментів продуктів [3]

Набір сегментів продукту складає упорядковану послідовність сегментів, необхідних для виготовлення продукту, достатньо детальну для можливості планування та календарного планування виробництва. Сегмент продукту може містити значення необхідних параметрів (наприклад уставок) для відповідного сегменту процесу. Сегмент продукту за необхідності більшої деталізації може також мати посилання на виробничу інструкцію, яка відповідає правилам, необхідним для його реалізації на нижніх рівнях керування.

Таким чином, сегменти продукту формують означення ланцюга послідовностей сегментів процесу для створення конкретного продукту. Ці сегменти процесу можуть, наприклад, включати в себе робочі центри, в яких буде вироблятися продукт, задіяний персонал та матеріали. У свою чергу, сегменти продуктів посилаються на шаблони означення роботи (Work master) та, за необхідності, на виробничу інструкцію, необхідну для реалізації.

6.4. Приклад означення сегменту продукту у MOM

Для прикладу, у середовищі Momentum сегменти продуктів діляться на типи, в залежності від їх особливостей (див.рис.6.5). Так, сегмент типу Consumer Unit (споживча одиниця) потребує матеріали, що виробляються в сегменті типу Intermediate (напівпродукт) та матеріали з сегменту Packaging material.



Рисунок 6.5 – Типи та зв'язки сегментів продукту [16]

Кожен сегмент продукту має велику кількість параметрів, які вказують на правила та ресурси його створення (рис.6.6), зокрема:

- Recipe - сегменти продукту і відповідно матеріали, які необхідні для виробництва відповідного продукту, тобто інгредієнти.
- Inventory - зони зберігання, де зберігається продукт і всі партії матеріалу цього продукту для обраної зони зберігання.
- Process Name - крок процесу, з яким пов'язано означення продукту. Тут ви визначаєте, які робочі центри використовуються і які параметри застосовуються для визначення продукту.
- Equipment requirements – нижньорівневе устаткування, необхідне для виробництва цієї версії.

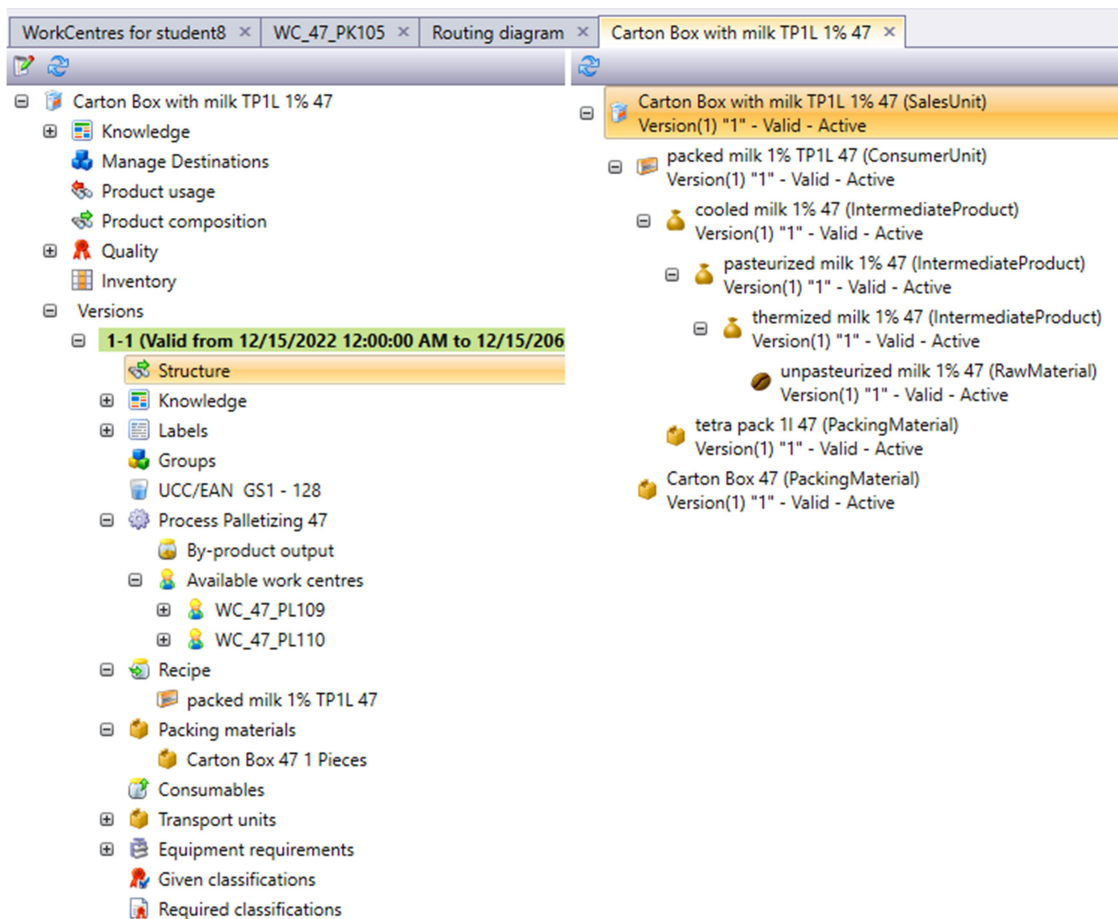


Рисунок 6.6 – Приклад сегмента продукту в Momentum

На рис.6.6 показаний приклад означення сегменту продукту Carton Box with milk TP1L% 47 для упакованого в картонні коробки розфасованого в 1л пластикові пляшки молока 1%. На рис. показана його структура, тобто як цей сегмент пов'язаний з попереднім, а той з попереднім і т.д. Цей сегмент продукту пов'язаний з процесом Paletiziing 47, який виконується на робочих центрах WC_47_PL109 та WC_47_PL110. У сегменті означений рецепт (рис.6.7), в якому вказано скільки і якого матеріалу (що означений сегментом продукту) необхідно для створення даного сегменту.

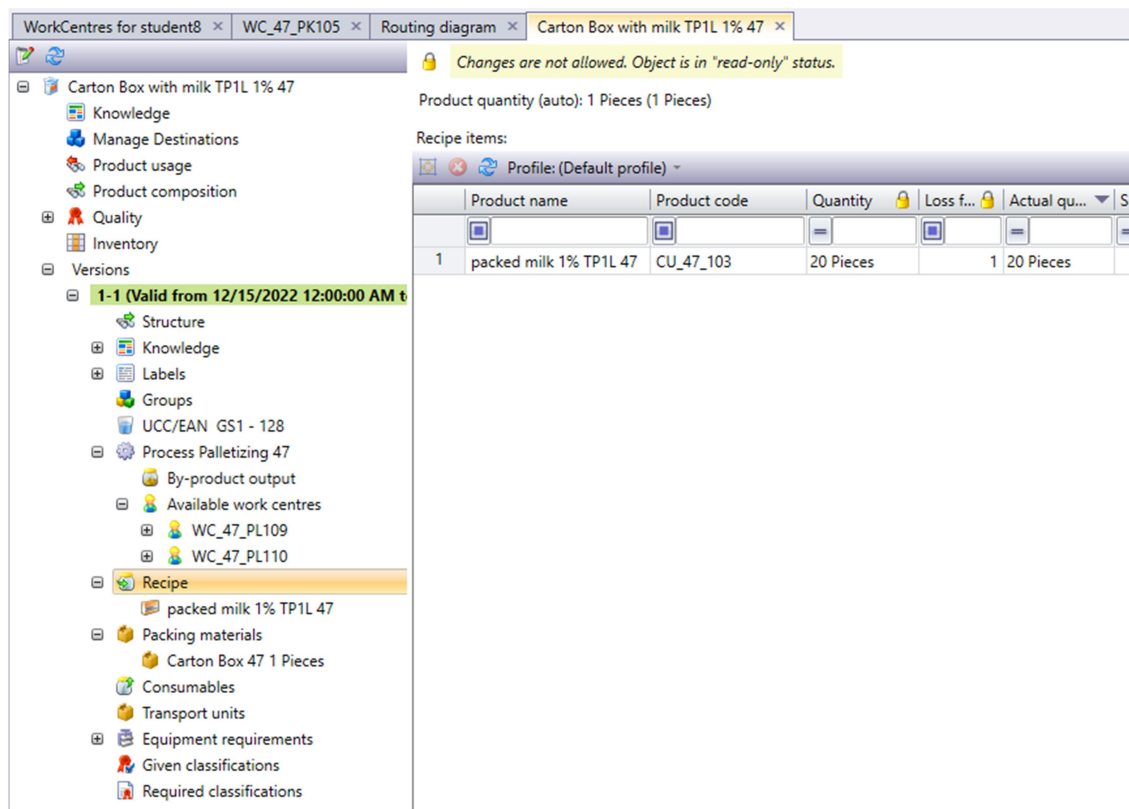


Рисунок 6.7 – Приклад означення рецепту

Контрольні питання

1. З якими видами діяльності і як пов'язане керування означенням продукту?
2. Що включає в себе керування означеннями продукту?
3. Розкажіть що таке сегмент продукту, як він утворюється і як співвідноситься з сегментом процесу?
4. Розкажіть про вкладеність сегментів продуктів.
5. Наведіть приклад означення сегменту продукту у системі MOM.

7. Детальне календарне планування

7.1. Рівні планування та їх співвідношення

Слід розрізняти поняття «Планування» (Planning) яке також інколи називають об'ємним плануванням та «Календарне планування» (Scheduling). Планування означається як діяльність з уточнення дій або операцій для досягнення поставленої мети та резервування достатньої кількості ресурсних потужностей для досягнення мінімальних цілей. Календарне планування означається як діяльність з розподілу дій та операцій на конкретні ресурси в конкретний час з урахуванням різних фактичних обмежень та оптимізації декількох параметрів оцінки.

Рис.7.1 ілюструє, що з точки зору ієрархії, планування знаходиться вище за календарне планування, оскільки календарне планування складається на основі результатів планування. Планування означає цілі для календарного планування. Результати календарного планування показують, чи є результат планування досяжним та ефективним. Якщо ні, планування зазвичай дає інші цілі для календарного планування. Доцільність та ефективність календарного планування - це види обмежень для планування.

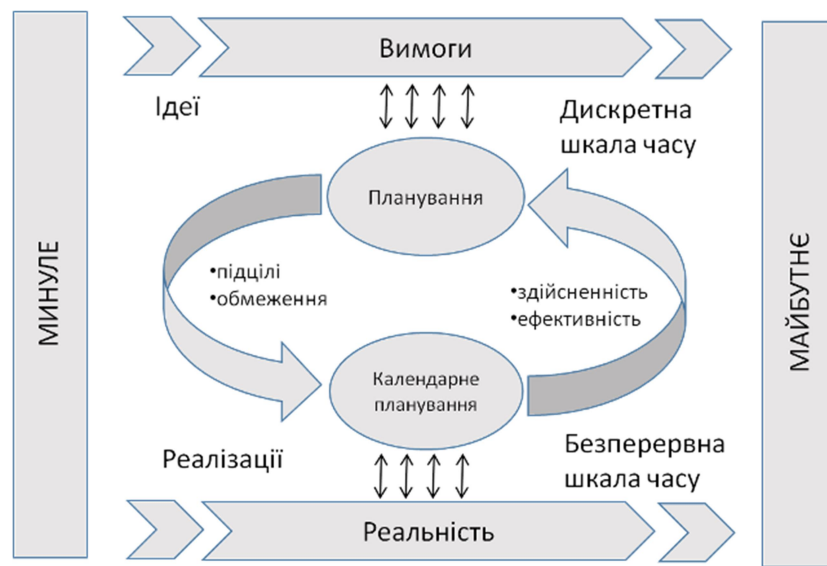


Рисунок 7.1 – Схематичне співвідношення планування та календарного планування [3]

Відмінності між плануванням (об'ємним) та календарним плануванням у видах результатів, які пов'язані з різними аспектами концепцій часу. При плануванні (Planning) основними результатами будуть цільові кількості, які застосовуються протягом певного періоду часу. Результати планування представлені в дискретному масштабі часу як періоди. Прикладами результатів планування можуть бути "50 000 одиниць товару цього місяця", "продажі на \$480 000 наступного місяця", "підсумок понаднормових годин на наступний тиждень" тощо. Результати календарного планування (Scheduling) представляють конкретні строки дій, наприклад, час

початку та час завершення операції, час видачі запасів, час доставки тощо. Результати інформації про послідовність операцій представлені у безперервній шкалі відносного або абсолютного часу. Прикладами результатів календарного планування можуть бути "9:00 понеділка виконання робочого замовлення 2345", "9:00 в середу виконуйте профілактичне обслуговування на E887e".

7.2. Виробничі замовлення

У результаті календарного планування на 4-му рівні (ERP) формується *виробничий календарний план* (Operation Schedule) для конкретного виробничого майданчику (див.рис.7.2). Цей план складається з *виробничих замовлень* (Operation request) на певний продукт чи інші операції (може включати кілька операцій різної категорії, наприклад обслуговування).

Виробничі замовлення можуть включати:

- запланований час початку операції, зазвичай використовується, якщо план керується системою календарного планування;
- запланований час завершення операції, зазвичай використовується, якщо MOM контролює дотримання термінів виконання;
- пріоритет замовлення, зазвичай використовується, якщо точна почерговість виробництва не запланована ззовні.

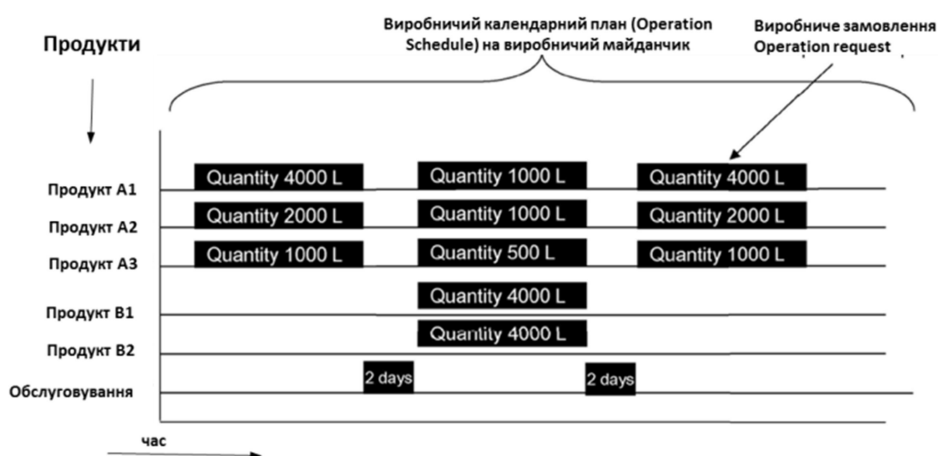


Рисунок 7.2 – Календарний план на виробничий майданчик [3]

Виробничий календарний план може включати змішані типи операцій. Виробничі замовлення у виробничому календарному плані та вимога до сегменту можуть бути спеціалізованими або змішаними:

- "змішаний" виробничий календарний план може містити змішані або спеціалізовані виробничі замовлення,

- "змішане" виробниче замовлення може містити змішані або спеціалізовані вимоги до сегмента,
- "змішані" вимоги до сегмента можуть обробляти декілька специфікацій ресурсів, які зазвичай з'являються в спеціалізованому сегменті.

На рисунку 18 показані вимоги до сегмента:

- рухи матеріалу, необхідні для виконання відповідної операції (категорія операцій з виробничими запасами);
- ресурси для основного виробництва; інформація про матеріал повинна містити відпущений матеріал та інші матеріали, перенесення яких не потрібно було б уточнювати (рідина, наявна у нерухомих трубах);
- ресурси, пов'язані з якістю, які залучаються під час або в кінці виробничої операції.

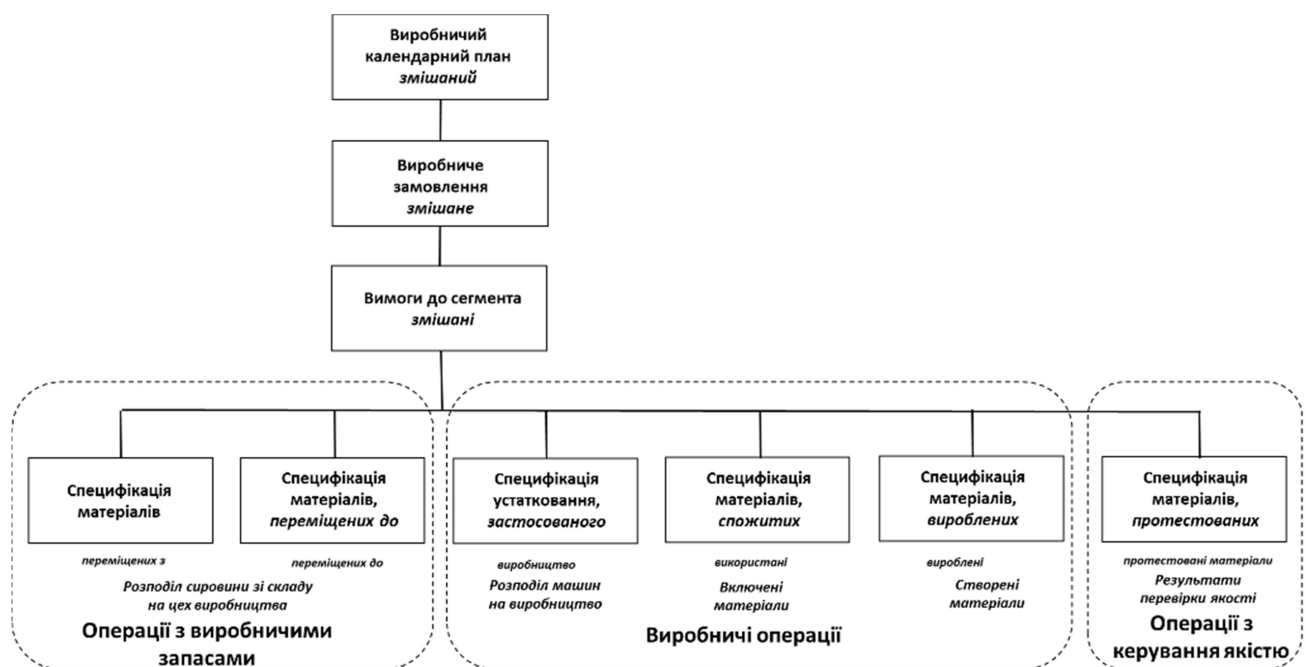


Рисунок 7.3 – Приклад виробничих замовлень на змішані операції

У системі Momentum, виробничі замовлення (називаються Customer Order) можна отримати з системи ERP або добавляти вручну. При цьому вибирається кінцевий продукт, необхідна його кількість, очікуваний та максимальний час завершення виготовлення (рис.7.4).

The screenshot shows the 'Create customer order' window. At the top, there's a 'Products' section with a table. The table has columns: Product c..., Product name, Measure..., Type, and Product quantity. The first row shows 'SU100', 'Carton Box with milk TP1L 1%', 'Count', 'Sales unit', and '10 Pieces'. Below the table, it says '0 rows selected'. There are several input fields: 'Deadline' (Thursday, February 13, 2020 8), 'Delivery date' (Thursday, February 13, 2020 8), 'Transport unit' (empty), 'Transport unit count' (0. Pieces), 'To Stock' (checkbox), and 'Comments' (text area). At the bottom right, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Рисунок 7.4 – Приклад виробничого замовлення в Momentum

7.3. Робочі замовлення, завдання та календарний план робіт

Згідно стандарту, кожне виробниче замовлення відправляються у вигляді набору *робочих замовлень* (*Work request*) на певний цех (див. рис.7.5).

Робочі замовлення можуть включати:

- запланований час початку роботи, зазвичай використовується, якщо план керується системою календарного планування;
- запланований час завершення роботи, зазвичай використовується, якщо MOM контролює дотримання термінів виконання;
- пріоритет замовлення, зазвичай використовується, якщо точна почерговість виробництва не запланована ззовні.

Робочі замовлення складаються з *завдань* на виконання робіт (*job order*), кожне з яких реалізується на конкретному робочому центрі. Кожне завдання пов'язане шаблоном означення роботи, яке задається в означенні продукту, що розглянуто в попередній лекції. Календарний план робіт означає розподіл ресурсів під виробничі завдання більш детально, ніж сегменти процесу, які орієнтовані на бізнес-процеси.

За розподіл робочих замовлень і відповідно завдань у часі відповідає *календарний план виконання робіт* (*Work schedule*), що може означуватись для будь-якої діяльності або для їх комбінації.

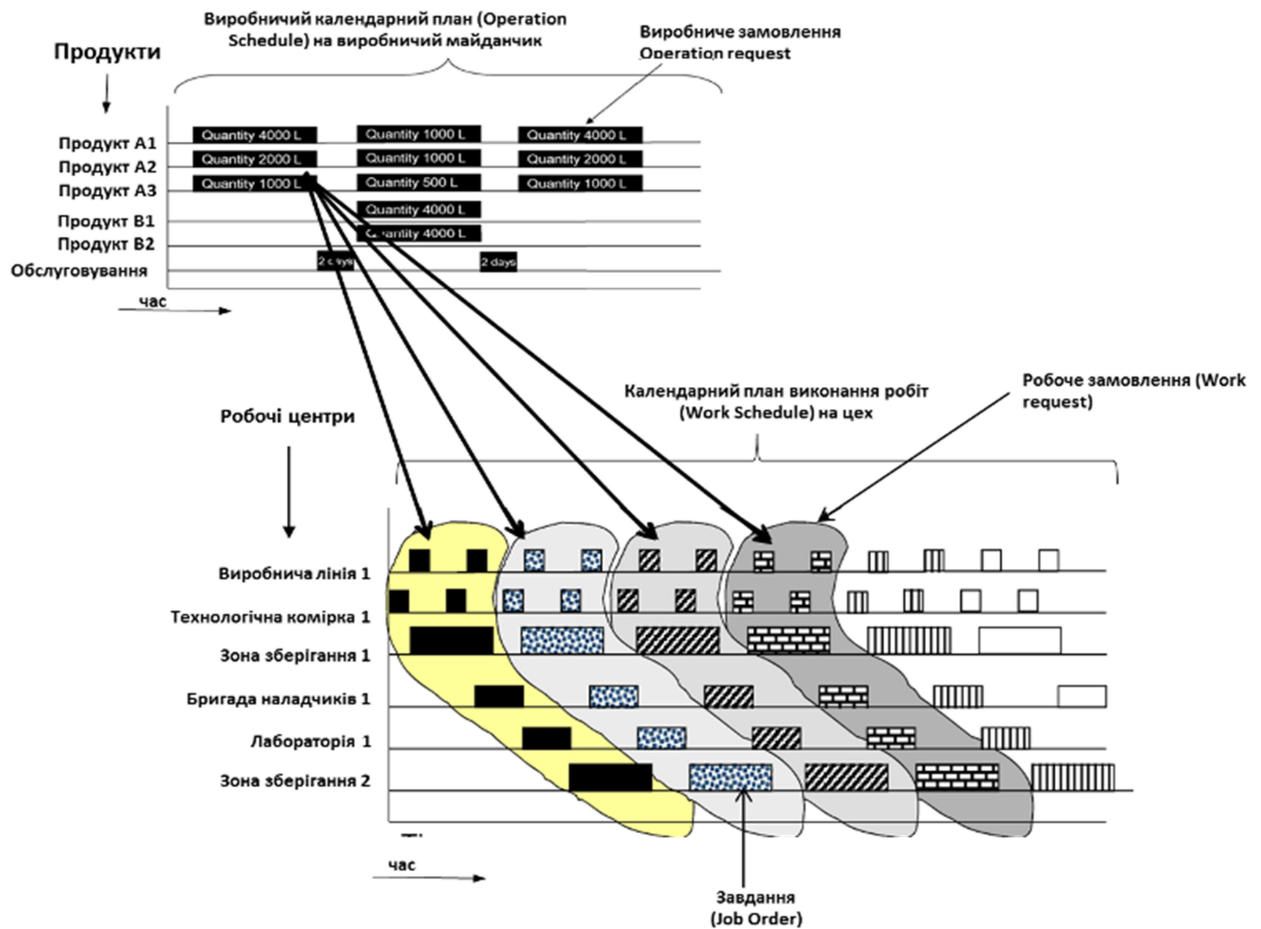


Рисунок 7.5 – Приклад створення календарного плану виконання робіт на цех

Таким чином, календарний план робіт для основного виробництва означається як набір завдань на виробництво та їх послідовності, що беруть участь у виробництві одного чи декількох виробів (в об'ємах робочих замовлень), на рівні деталізації, необхідної для виготовлення. Завдання націлені на конкретний робочий центр. Якщо цей робочий центр є порційного типу (технологічна комірка), то завдання відповідає конкретній партії продукту (Batch), як це означено в ІЕС 61512.

Календарний план робіт пов'язує фізичну та/або хімічну обробку (процеси) з конкретним виробничим устаткуванням або класами виробничого устаткування, з конкретними стартами або початковими подіями. Зазвичай цей зв'язок виконується через завдання (job order). Календарний план робіт може посилатися на конкретний персонал або класи персоналу. Завдання має наступні атрибути:

Таблиця 7.1. Атрибути завдання

Атрибут	Пояснення
Ідентифікатор та версію шаблонного означення роботи	Ідентифікує пов'язане шаблонне означення роботи для використання, якщо воно застосовується.
Час запуску	запланований час початку роботи
Час завершення	запланований час завершення роботи
Пріоритетність	Пріоритетність замовлення, якщо застосовується.
Межі ієрархії	Ідентифікує, де застосовується обмінювана інформація в межах ієрархії устаткування на основі ролей.
Команда	Визначає які дії має виконати діяльність керування виконанням над завданням, наприклад: Запустити, Утримувати, Скасувати, Перервати, Зупинити
Статус диспетчерування	Визначає статус запису з точки зору діяльності диспетчерування. Цей статус схожий на те, що планувальники писали б на своїх дошках для стеження за завданням. Наприклад: Відправлено на виконання, Очікує на розгляд, Утримано, Скасовано, Відкладено, Завершено
Командна інструкція	Інструкція для діяльності керування виконанням, що визначає умови для виконання команд. Наприклад: Устаткування чисте, Після завершення замовлення WED89

7.4. Приклад календарного плану виконання робіт в системі MOM

Для прикладу, в системі Momentum, при плануванні, виробничі замовлення спочатку діляться на робочі замовлення (Work Order) відповідно до сегментів продуктів. Це процес відбувається автоматично. Далі робочі замовлення плануються на певні робочі центри, відповідно до процесів, які вони можуть виконувати (рис.7.6). Це може відбуватися як автоматично так і вручну. Примітка: у попередній версії стандарту IEC 62264 «Job Order» мало назву «Work Order».

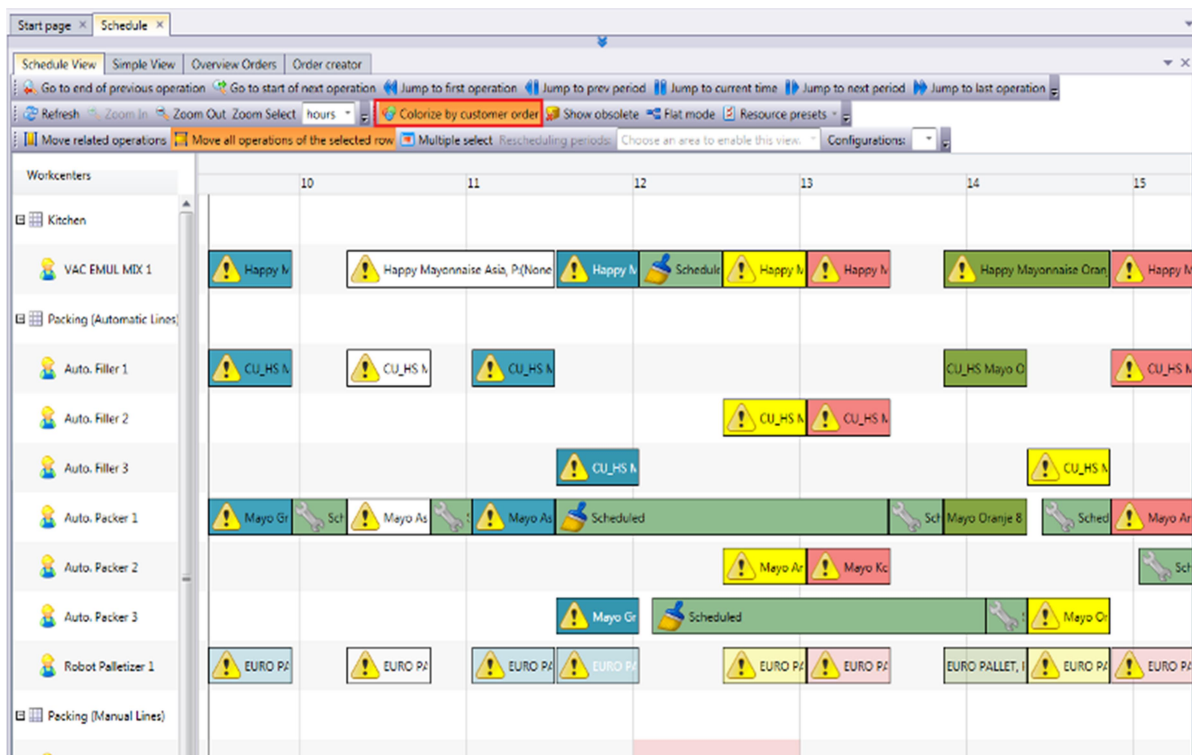


Рисунок 7.6 – Приклад календарного плану виконання робіт [16]

Кожне робоче замовлення має певний стан, розміщення на робочому центрі, заплановані часи початку, виконання та завершення (рис.7.7). У системі Momentum робочі замовлення, що вже заплановані на робочих центрах, називаються операціями.

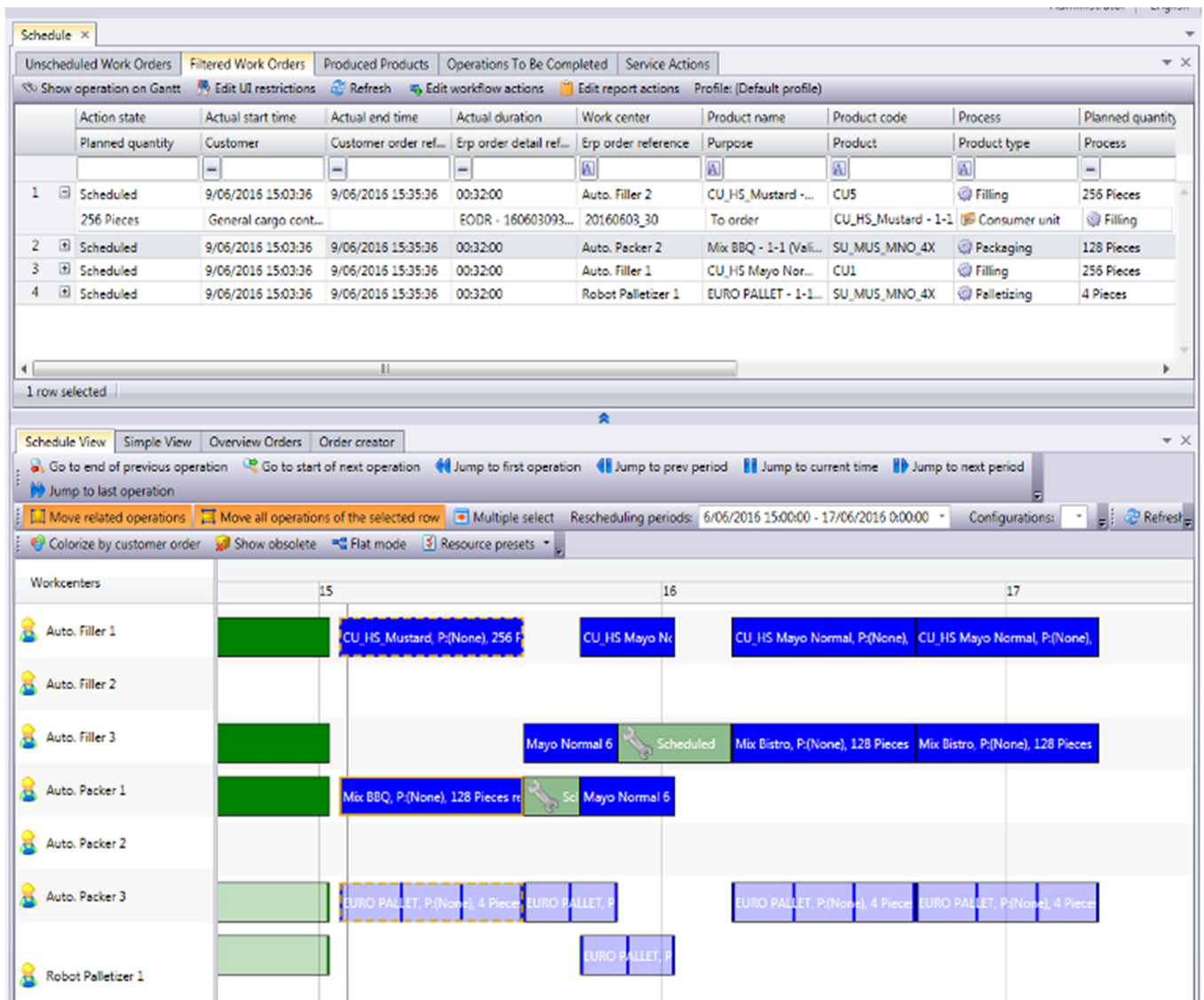


Рисунок 7.7 – Стани робочих замовлень [16]

7.5. Зв'язок означення детального календарного планування з іншими діяльностями

Детальне календарне планування виробництва - це сукупність видів діяльностей, що по отриманому календарному плану основного виробництва визначають оптимальне використання місцевих ресурсів для задоволення потреб. На рисунку 7.8 наведені інтерфейси моделі діяльності. Оптимальне використання місцевих ресурсів може включати в себе замовлення запитів на мінімальне число запусків чи очищення устаткування, об'єднання запитів на оптимальне використання устаткування та розбиття запитів, коли це потрібно через розміри партії або обмежені виробничі норми.

Системи планування на рівні підприємств часто не мають детальної інформації, необхідної для календарного планування конкретних робочих центрів, робочих підрозділів або персоналу. Детальне календарне планування виробництва враховує місцеві ситуації та наявність ресурсів.



Рисунок 7.8 – Інтерфейси моделі діяльності детального календарного планування виробництва [6]

Задачі детального календарного планування виробництва можуть включати:

- створення та ведення календарного планування роботи;
- порівняння фактичного виробництва з плановим;
- визначення планової потужності кожного ресурсу для використання функцією керування виробничими ресурсами;
- отримання інформації з керування операціями технічного обслуговування, керування операціями контролю якості та контролю виробничих запасів;
- моделювання виконання «що-якщо». Це завдання може включати в себе такі дії:
- обчислення часу виробництва або остаточного часу завершення для кожного запиту виробництва, передбаченого функціями рівня 4;
- визначення ресурсів вузьких місць для кожного періоду;
- забезпечення часу доступності майбутнього виробництва для конкретного продукту.

Календарний план виконання робіт ґрунтується на вимогах, означених у календарному плані рівня 4, означенні продукту та продуктивності ресурсу. Він враховує обмеження та доступність та використовує інформацію від діяльності стеження за виробництвом для обліку фактичної незавершеної роботи. Він може надаватися або на вимогу, або за визначеним графіком. Також може перероблятися на основі непередбачених подій, таких як відключення устаткування, зміна робочої сили та / або зміна доступності сировини. Він може надаватися людям, додаткам або іншим видам діяльності.

Детальне календарне планування виробництва може застосовувати стратегію планування, таку як вибір вперед (forward) або назад (backward), призначення пріоритету для кожного

завдання, застосування конкретних обмежень для заводу, розподіл буфера часу на ресурсі вузького місця та інше.

Детальне календарне планування виробництва може мати форму планування виробничих потужностей. Планування виробничих потужностей - методологія планування, яка передбачає розроблення календарних планів роботи виробничого технологічного устаткування таким чином, щоб жодна з вимог до потужності виробничого технологічного устаткування не перевищувала його доступну потужність. Для цього планування необхідна інформація про поточні та майбутні продуктивності та потужність ресурсів, означені в частині 1 ІЕС 62264. Вона надається в рамках діяльності керування виробничими ресурсами.

Підсистема календарного планування одна з найскладніших, оскільки може використовувати різні обчислювальні алгоритми та нерідко включають методи «ноу-хау». Сьогодні ряд компаній використовують методи APS-планування, які передбачають багаторівневе календарне планування на усіх рівнях керування з перерахунком. Така підсистема присутня також в вітчизняній ERP/MES [ITenterprise](#), яка успішно використовується на багатьох підприємствах.

7.6. Приклад календарного планування в системі MOM

У системі Momentum автоматичне планування створює робочі замовлення і розподіляє їх по робочих центрах (називаються операціями). Коли розрахунок замовлення йде автоматично відкривається вікно *Schedule automatically*, де ви можете переглядати робочі завдання і маніпулювати критеріями планування (рис.7.9). Автоматичне планування дозволяє встановити критерії оптимізації і угруповування. Планувальник оптимізує рішення на основі обраних критеріїв і їх важливості.

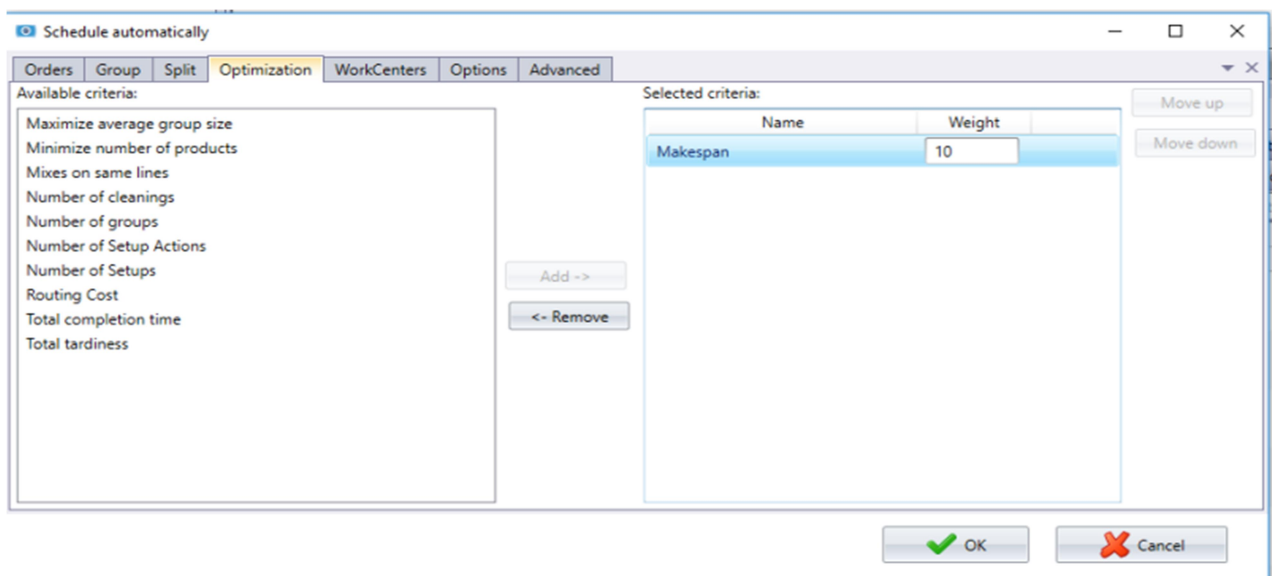


Рисунок 7.9 – Приклад вікна вибору критеріїв автоматичного планування

Процес планування виглядає наступним чином:

- вибирається один або кілька виробничих замовлень для планування, вибирається автоматичне планування;
- вказується за необхідності обмеження на робочі центри;
- встановлюються опції та налаштування планування, запускається алгоритм;
- через певний час знаходиться перше рішення, після чого можна вибрати «Запланувати зараз», або спочатку почекати додатковий час для пошуку найкращого рішення;
- після того, як користувач натисне кнопку «Запланувати зараз», почнеться процес створення операцій, який буде також включати дії:
 - планування переміщення матеріалів (якщо вони повинні бути створені відповідно до конфігурації),
 - планування дій по обслуговуванню між операціями (якщо дії по обслуговуванню сконфігуровані в матриці),
 - планування операцій для розподілу рухомого устаткування (в разі, якщо рухоме устаткування налаштоване),
 - виконувати існуючий програмний скрипт (якщо є скрипти, які виконуються при оновленні стану дії операції),
 - розміщувати операції на діаграмі Ганта.

Поточний крок планування і всі інші кроки можна побачити в файлі журналу під час проведення планування (рис.7.10).

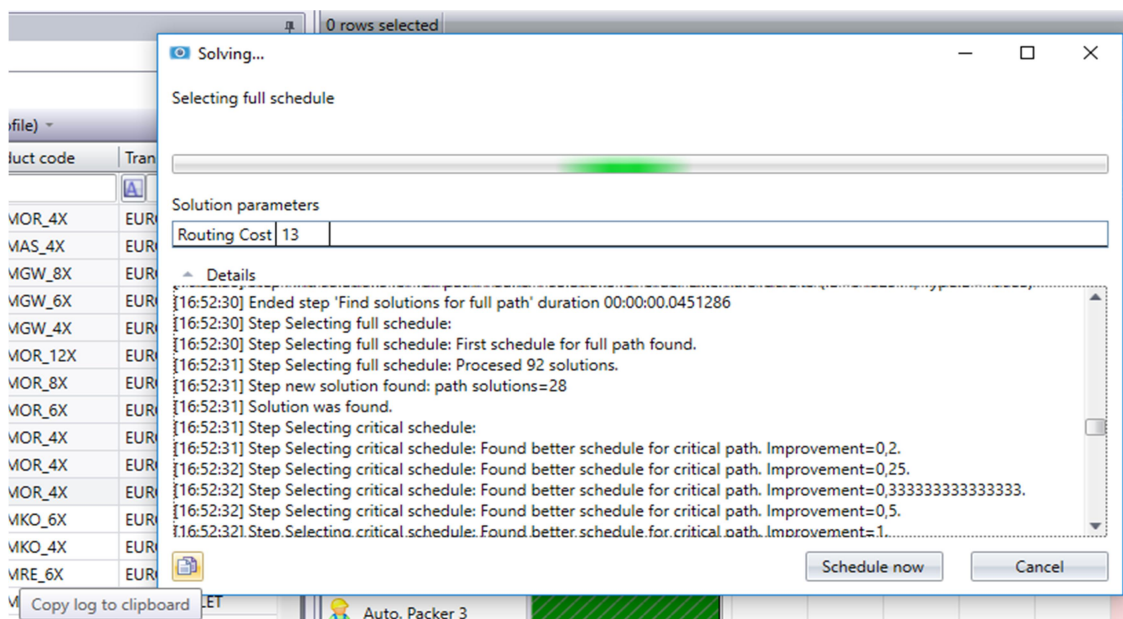


Рисунок 7.10 – Приклад вікна відображення статусу розрахунку календарного плану для вибраного виробничого замовлення

7.7.Взаємозв'язок календарних планів

Календарний план виробництва може бути поділений або об'єднаний для відправлення на диспетчерування. Ліва частина рис. 7.11 ілюструє, як один календарний план поділяється на декілька, а права – як кілька календарних планів виробництва з різних джерел можуть бути об'єднані в один. Як приклад, декілька денних календарних планів робіт можна отримати з календарного плану на тиждень. Так само можливе об'єднання декількох календарних планів для зменшення кількості запусків чи очищення устаткування.



Рисунок 7.11 – Поділ та об'єднання календарних планів виробництва до календарних планів робіт

Слід чітко означити взаємозв'язки між детальним календарним плануванням виробництва, виробничих запасів, технічного обслуговування та керування якістю. Для взаємодії з виробництвом слід визначити наступні три взаємодії, як показано на рисунку 7.12.

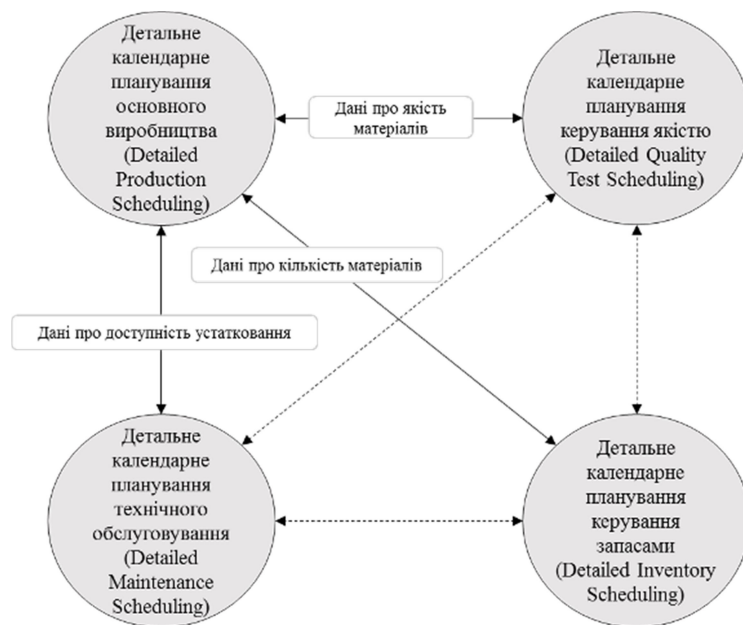


Рисунок 7.12 – Взаємодія детального календарного планування [3]

Взаємодія між детальним календарним плануванням виробництва та детальним календарним плануванням виробничих запасів означається як узгодження інформації про початок або завершення виробництва, кількість матеріалів та їх переміщення. Однак планування переміщення може бути означено або в детальному плануванні виробництва, або в детальному плануванні виробничих запасів. Наприклад, планування початку виробництва не відбувається до планування передачі відповідних матеріалів. Іншим прикладом може бути ситуація, коли завершення запланованого виробництва запускає заплановану операцію з керування виробничими запасами.

Взаємодія між детальним календарним плануванням виробництва та детальним календарним плануванням технічного обслуговування означається як узгодження інформації про устаткування, яке забезпечує виробництво та потребує резервування для обслуговування. Таким чином не можна одночасно планувати ремонт та виробництво на одному і тому ж устаткуванні. Планування технічного обслуговування відбувається на основі планового використання устаткування для виробництва.

Взаємодія між детальним календарним плануванням виробництва та детальним календарним плануванням керування якістю означається як узгодження інформації про якість виготовлених та споживаних матеріалів, які необхідно перевірити залежно від вимог до якості та останніх показників виробництва.

З точки зору діяльності детального календарного планування, ресурси, такі як персонал, устаткування та/або матеріал, можна розділити на дві різні групи:

- витратні ресурси, що зазвичай відповідають відпрацьованим годинам персоналу, матеріалам (включаючи енергію);

- невитратні ресурси, що зазвичай відповідають навичкам персоналу та використанню устаткування.

Витратні ресурси та невитратні ресурси, як правило, по-різному обробляються в діяльності календарного планування. Витратний ресурс виробляється або споживається виробничими процесами. Цей тип ресурсів зазвичай включає сировину (включно з енергією), кінцеву продукцію інвентаризації WIP, а також може включати відпрацьовані години персоналу або час напрацювання устаткування. Кількість ресурсу вимірюється до або після виробництва і зазвичай змінюється в процесі. Кількість використаного ресурсу - це пряма витрата на процеси виробництва продукції. Невитратний ресурс не вичерпується виробничими процесами, а планується на основі продуктивності. Кількість ресурсу зазвичай не змінюється до чи після виробництва.

7.8. Врахування зв'язків устаткування при плануванні

При плануванні та диспетчеруванні в системі MOM враховуються взаємозв'язки між устаткуванням. Тому окрім самої ієрархії устаткування, даного в розділі 3, в системі вказуються також зв'язки. Наприклад, у Momentum для цього є налаштування діаграми маршрутизації. Вона не тільки означає між яким робочими центрами може передаватись продукт, а й їх взаємодію між собою. Наприклад, на рисунку 7.13 показаний приклад потокової діаграми для молочного виробництва, що наводилося в попередніх лекціях. Взаємодії між робочими центрами означаються параметрами ліній зв'язку. Зокрема параметр Lag time вказує на час затримки запуску однієї операції відносно іншої, а Cost - на пріоритетність шляхів. Використовуючи Dependancy type можна вказати на поведінку завдань (одночасний запуск чи зупинка, запуск однієї після закінчення іншої і т.д.)

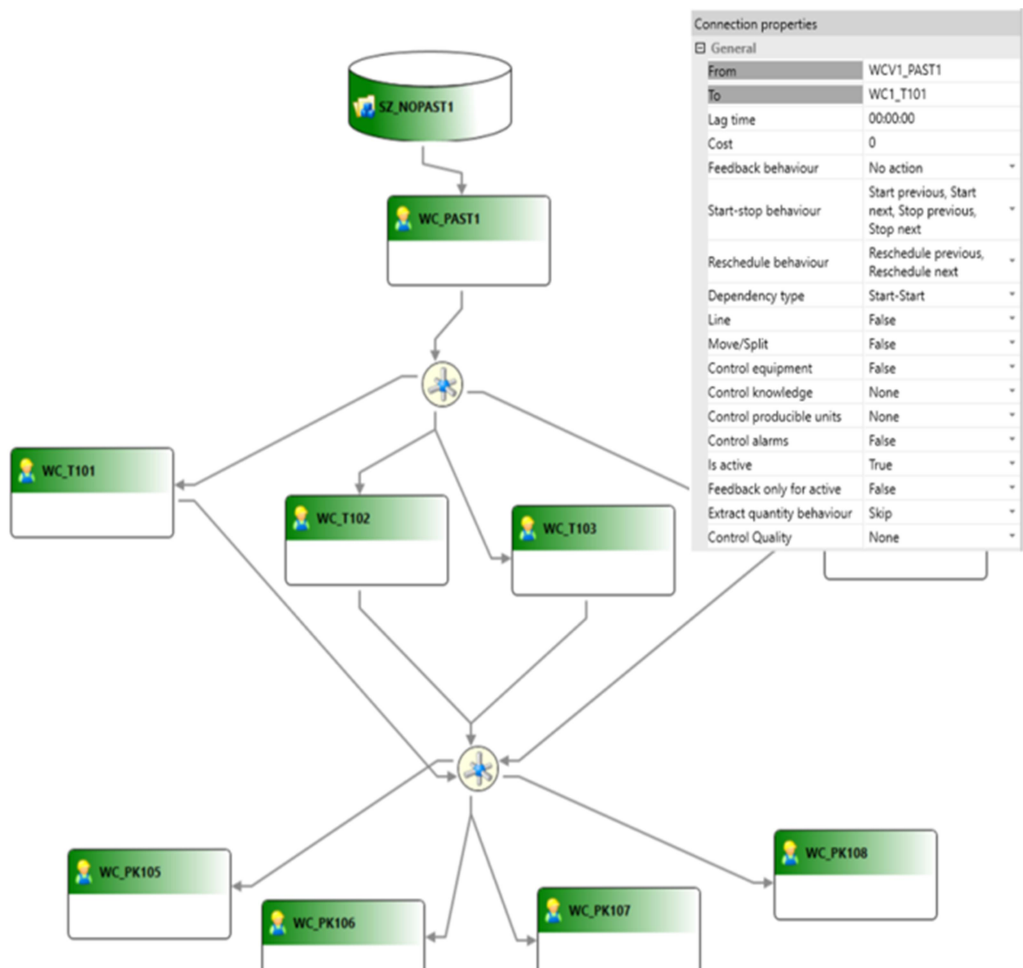


Рисунок 7.13 – Приклад діаграми маршрутизації та параметрів з'єднання

Контрольні питання

1. Розкажіть у чому відмінність об'ємного планування та календарного планування. Як вони співвідносяться?
2. Що таке виробничий календарний план (Operation Schedule) та виробничі замовлення (Operation request)? Наведіть приклад виробничих замовлень в системі MOM.
3. Що таке робочі замовлення (Work request) та завдання на роботу (job order)?
4. Що таке календарний план виконання робіт (Work schedule)? Поясніть як пов'язані робочі замовлення (Work request), завдання на роботу (job order) та робочі центри в календарному плані робіт.
5. Які атрибути має завдання на виконання роботи?
6. Наведіть приклад вигляду календарного плану виконання робіт в системі MOM.
7. Як зв'язано детальне календарне планування з іншими діяльностями?
8. Які задачі детального календарного планування виробництва?
9. Наведіть приклад календарного планування в системі MOM
10. Наведіть приклади зв'язків календарних планів.

8. Збір даних, диспетчерування та керування виконанням

8.1. Диспетчерування

Діяльності календарного детального планування не включають в себе роботи по керуванню ресурсами, вони тільки передбачають їх використання в певні моменти часу. Для виконання запланованих завдань необхідно їх направити на робочі центри, в яких виділити необхідні ресурси та забезпечити запуск та завершення усіх робіт, передбачених і не передбачених в означенні роботи. Згідно стандарту ІЕС 62264-3 це включає дві взаємопов'язані діяльності: диспетчерування та керування виконанням.

Диспетчерування виробництва (координація, Production dispatching) означається як сукупність видів діяльності, що керують виробничим потоком шляхом координування устаткування та персоналу для виробництва. Така координація конкретно означає хто, що і коли робить, з ким і як взаємодіє і в якому порядку.

Ця діяльність як правило включає відправлення завдань до робочих центрів або/та видачу завдань на виконання ручних операцій (наприклад налаштування машини, ручна мийка, переключення). Хоч диспетчерування не запускає і не забезпечує виконання завдань, вона передбачає контроль їх статусу (наприклад, схвалено, виправлено, обробляється або скасовується). Крім того, після детального календарного планування ще до його виконання необхідно передбачити контроль дотримання технологічних обмежень, які можуть бути не означені в плані.

Слід зазначити, що деякі системи керування робочими центрами можуть мати власні системи календарного планування. Тому диспетчерування також може включати наступні діяльності:

- календарне планування запуску партій в системі керування порційним виробництвом (робочий центр порційного типу виробництва);
- календарне планування запусків виготовлення у виробничій лінії (робочий центр дискретного типу виробництва);
- відправка завдання стандартних умов функціонування для виробничого вузлу (робочий центр неперервного типу).

Завдання диспетчерування основного виробництва можуть включати назначення необхідних місцевих ресурсів, якщо вони не були передбачені в календарному плані. Наприклад, може бути задіяння додаткового устаткування чи персоналу при певній нештатній ситуації.

При необхідності переключення виконання одного завдання на інше на певному ресурсі (наприклад робочому центрі) необхідне його звільнення. Наприклад, надання устаткування, що було на мийці, для виконання іншого завдання, та відповідна зміна завдання для персоналу.

8.2. Зв'язок диспетчерування з іншими діяльностями

Диспетчерування виробництва передбачає інформування діяльності детального календарного планування виробництва про неможливості виконати вимоги плану, коли до цього призводять непередбачені події. Це у свою чергу повинно запустити процес перепланування. З іншого боку, диспетчерування може враховувати непередбачені умови щодо якості матеріалів, майбутню відсутність матеріалів, отримавши інформацію від відповідних підсистем. Воно також включає координування з операціями по технічному обслуговуванню, керування якістю, керування запасами та/або операції з керування виробничими ресурсами.

Диспетчерування виробництвом взаємодіє з іншими діяльностями через різні інтерфейси (див.рис.8.1).



Рисунок 8.1 – Інтерфейси моделі діяльності диспетчерування виробництва [6]

Як видно з рис.8.1 диспетчерування передбачає відправлення виробництву на виконання *списку завдань (Job List)*. Завдання визначають конкретні елементи роботи, які слід виконувати в робочих центрах та робочих вузлах. Кожен пункт списку завдань повинен включати час або подію для початку діяльності. Список завдань може приймати різні форми, зокрема списки партій (Batch List, для порційного виробництва), настанови експлуатації (для неперервного виробництва), календарні плани для ліній (для дискретного виробництва), часи налаштування (для обслуговування) або специфікації технологічного процесу (для керування якістю). Список завдань співвідносить устаткування з детальними виробничими елементами та робить цю інформацію доступною для діяльностей збору виробничих даних та стеження за виробництвом. На рис. 8.2

показаний приклад календарного плану робіт та списку завдань, представлених у форматі діаграми Ганта. Список завдань тут показаний у вигляді набору завдань для цеху у певний відрізок часу. У той же час список завдань може бути означений для певної групи ресурсів на певний відрізок часу, наприклад на рис.8.2 показаний у вигляді детального календарного плану робочого центру.

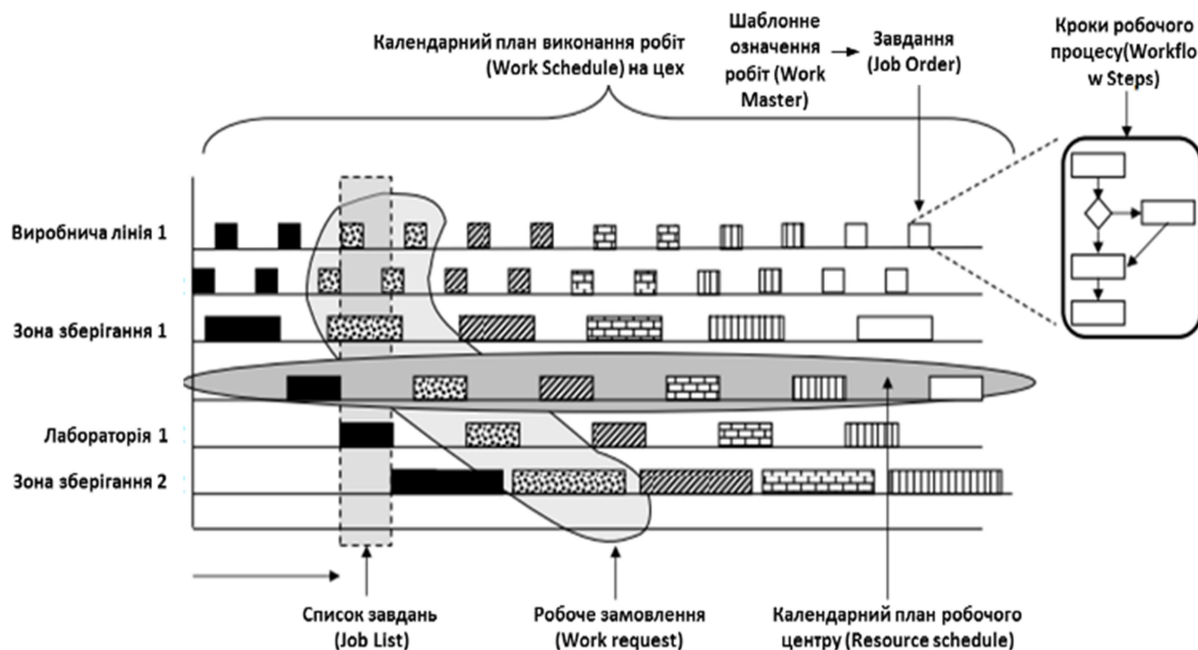


Рисунок 8.2 – Зразок списку завдань [6]

Диспетчерування може налаштовувати роботу в змішаному об'єкті з безперервним, порційним та дискретним виробничими сегментами. На рис.8.3 показаний приклад, у якому списки завдань специфікують налаштування для неперервної операції попереднього змішування, послідовність виробництва партій для порційного виробництва, та настройка системи пакування (дискретне виробництво).

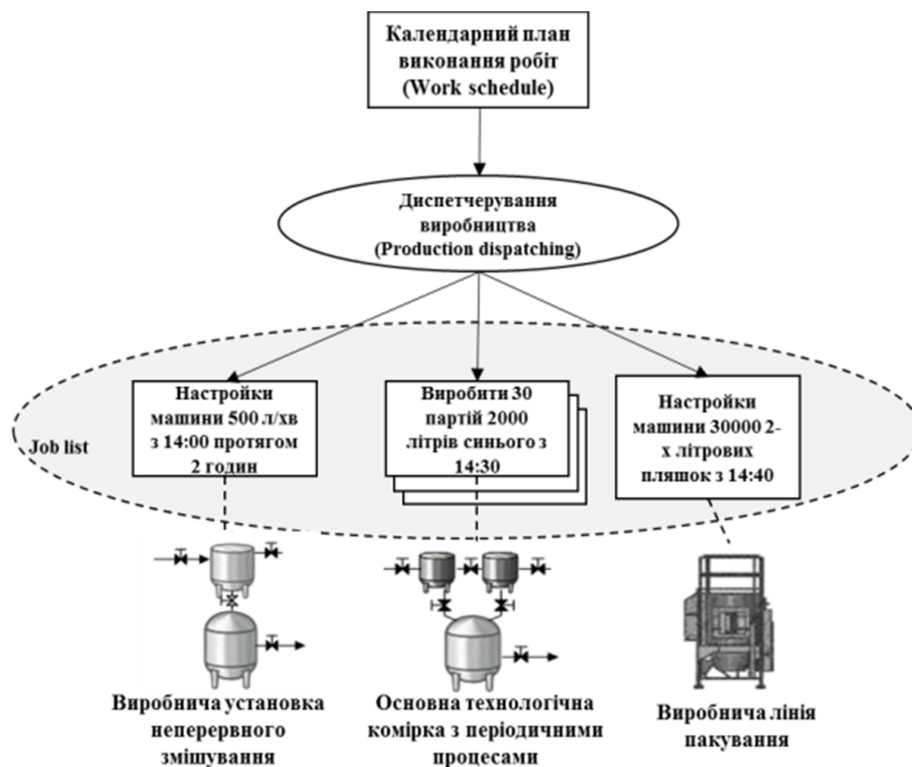


Рисунок 8.3 – Диспетчерування роботи засобів виробництва змішаного типу [3]

8.3. Керування виконанням

У той час як диспетчерування передбачає тільки формування в конкретний момент часу списку завдань для робочих центрів та виділення необхідних ресурсів для цього, керування їх виконанням відповідно до ІЕС 62264 виконують інші діяльності. *Керування виконанням виробництва* (Production execution management) означається як сукупність видів діяльності, що спрямовують на виконання роботи, що вказані в списку завдань. Це включає вибір, запуск цих робіт та переміщення (наприклад, партій матеріалу, підпартій матеріалу або партій) за допомогою відповідної послідовності дій з метою фізичного виготовлення продукту. Фактичне виконання роботи (ручне або автоматичне) є частиною функцій рівня 2.

Виконання виробництва - це транзакція окремих одиниць роботи від однієї операції або етапу до другого, збирання та облік таких речей, як фактично витрачені матеріали, витрачені години праці та брак на кожному етапі чи операції. Це забезпечує видимість стану та місця розташування кожної партії чи одиниці роботи чи виробничого замовлення в будь-який момент на заводі та пропонує спосіб для забезпечення зовнішнім клієнтам видимості стану замовлення на заводі.

На рис.8.4 показані як керування виконанням виробництва взаємодіє з іншими підсистемами.

- Шаблонне означення роботи - Work master
- Список завдань - Job List
- Інформація основного виробництва - production information
- Виробнича інструкція і детальна маршрутизація основного виробництва - product production rule and detailed production routing
- Робоче сповіщення - Work Alert
- Команди керування операціями - Operational commands
- Інформація про виконання операцій - Operations response



Рисунок 8.4 – Інтерфейси моделі керування виконанням виробництва [6]

Діяльності з керування виробництвом включає координацію ручних та автоматизованих процесів на виробничому майданчику, цеху або робочому центрі. Тому для цього потрібно означити зв'язок з системою АСКТП. Це може відбуватися в різні способи, зокрема через стандартизовані інтерфейси типу OPC, OPC UA, або інші.

Завдання керування виробництвом включають в себе керування та контроль виконанням робіт та ініціювання діяльності рівня 2 (АСКТП) відповідно до означеного завдання. Зокрема це передбачає створення настанов для роботи на основі шаблонів означення робіт, що є частиною завдання, та координування виконання.

Для прикладу, у системі Momentum для кожного робочого центру передбачене вікно керування (рис. 8.5). Воно дає змогу запускати, зупиняти і завершувати операції на конкретному робочому центрі, переглядати прогрес та проводити контроль якості.

Оператор робочого центру отримує список завдань у послідовності, відповідно до їх часу виконання. Він запускає одну з них на виконання і контролює кількість виробленого матеріалу. За необхідності можна зробити ручну реєстрацію продукту. Отримуючи завдання, оператор через вікно інформації може отримати усі необхідні деталі його виконання, необхідне устаткування та ресурси. У випадку порційного виробництва, оператор запускає керівний рецепт на виготовлення партії продукту, що у свою чергу вміщує усю послідовність етапів, яка також контролюється через вікно даного робочого центру.

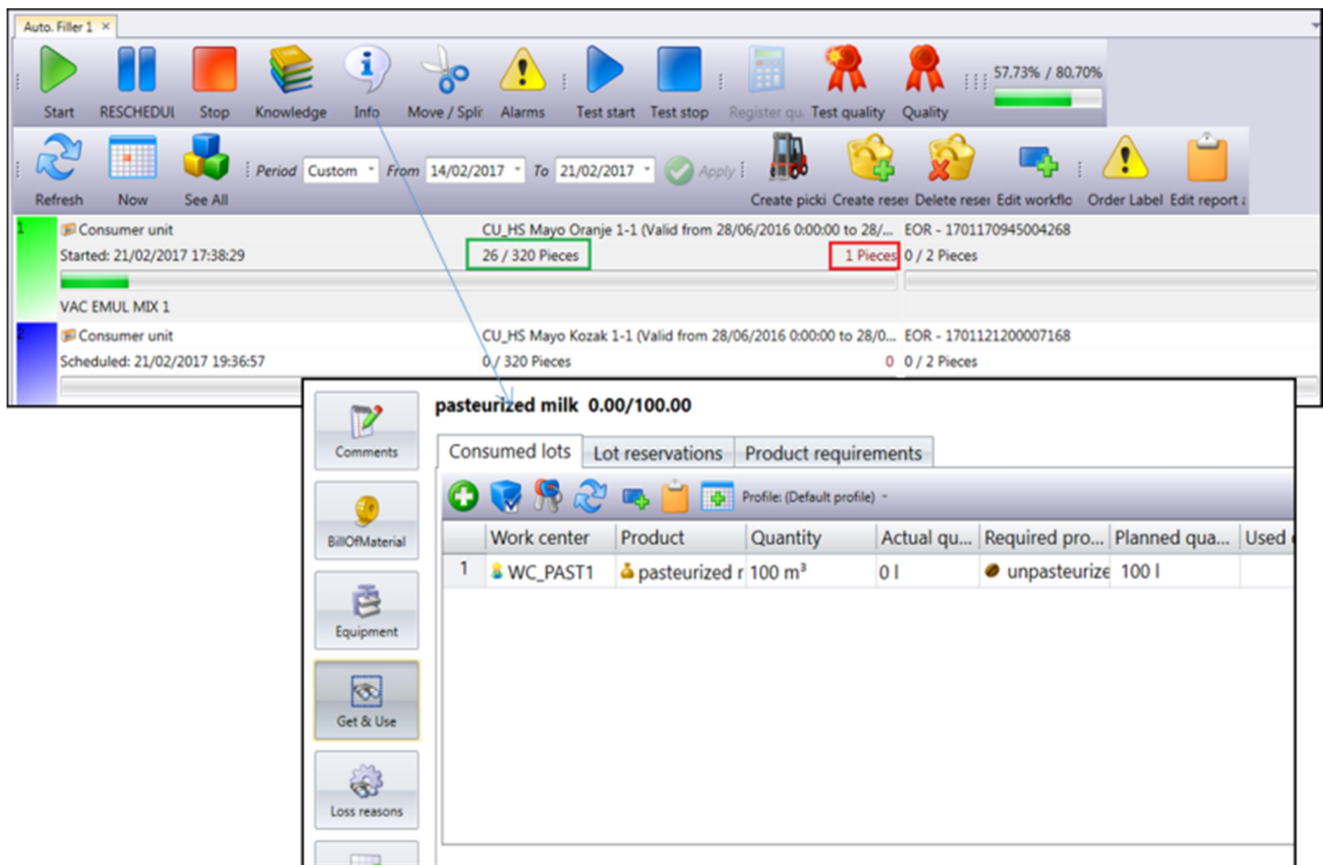


Рисунок 8.5 – Вікно керування робочими центрами

8.4. Збір даних

Для задач аналізу в стандарті передбачається також *збір даних основного виробництва (Production Data Collection)* – набір діяльностей, що займаються збором, архівуванням, упорядкуванням та керуванням виробничими даними для конкретних робочих процесів або конкретних виробничих запитів. Виробничі системи керування, як правило, оперують:

- даними про процес, таким як кількість (вага, штуки тощо), властивість (швидкість, температура тощо);
- інформацією про устаткування, такими як стан контролера, датчика, пускача, тощо.

Дані можуть включати показання датчиків, стан устаткування, дані про події, введені оператором значення, дані про транзакції, дії оператора, повідомлення, результати розрахунків за моделями та інші дані, важливі для виготовлення продукції.

Збір даних може відбуватися за часом або за подією. При цьому до даних додаються відмітку про час або подію, щоб надати контексту зібраній інформації. Подієво-орієнтовані дані між підсистемами MOM можуть передаватися через *робочі сповіщення (Work alert)* – повідомлення про подію рівня MOM, яке не потребує підтвердження.

На рис.8.6 показані деякі інтерфейси між збором даних основного виробництва та іншими діяльностями рівня MOM.

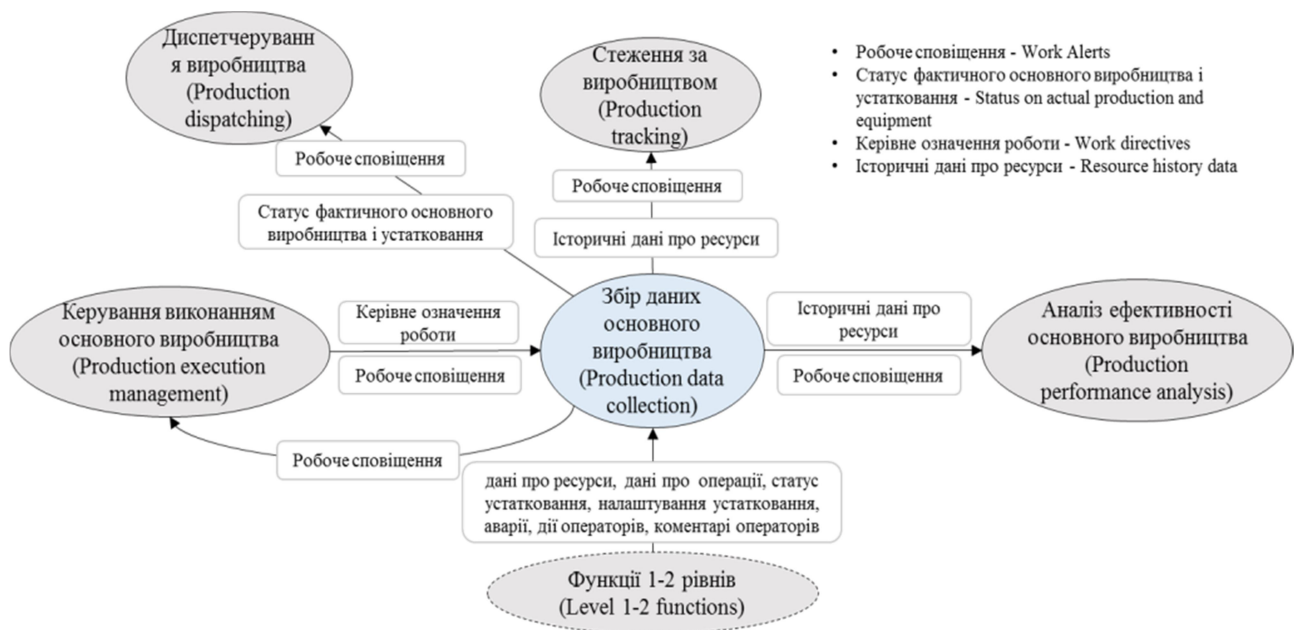


Рисунок 8.6 – Інтерфейси моделі збору даних основного виробництва [6]

Завдання збору даних основного виробництва можуть включати:

- збір, видалення та архівування інформації, що стосується виконання виробничих запитів (робочі сповіщення, означення роботи), використання устаткування, включаючи інформацію, що вводиться виробничим персоналом; наприклад: дані процесу, дані статусу устаткування; набір даних про розміщення та кількість партії матеріалу; записи журналу операторів;
- надання інтерфейсів до:
- систем керування технологічним процесом або виробничої лінії;
- систем керування лабораторною інформацією (LIMS);
- систем керування основним виробництвом;
- надання звітів за даними основного виробництва;
- забезпечення інформацією для локального аналізу процесів та виробництва та для звітування перед логістичними системами вищого рівня;
- забезпечення інформацією для стеження за продукцією для подальшої можливості простежування; наприклад, простежування продуктів для конкретних партій матеріалів, устаткування та/або операторів;
- забезпечення моніторингу відповідності (якості) та функцій тривожної сигналізації (реєстрація ведення журналу подій);
- надання зібраної інформації про якість продукції для порівняння зі специфікаціями.

8.5. Приклад реалізації збору даних в MOM

Збір даних може бути реалізований через формування таблиць в реляційних базах даних. У Momentum, наприклад, за цю діяльність відповідає окремий сервер DMS (Data Mining Server). При конфігуруванні означаються пакети (Package), які будуть відповідати однойменним таблицям в базі даних (рис.8.7). Для кожного пакету конфігуруються поля, які відповідають полям записів в таблиці бази даних.

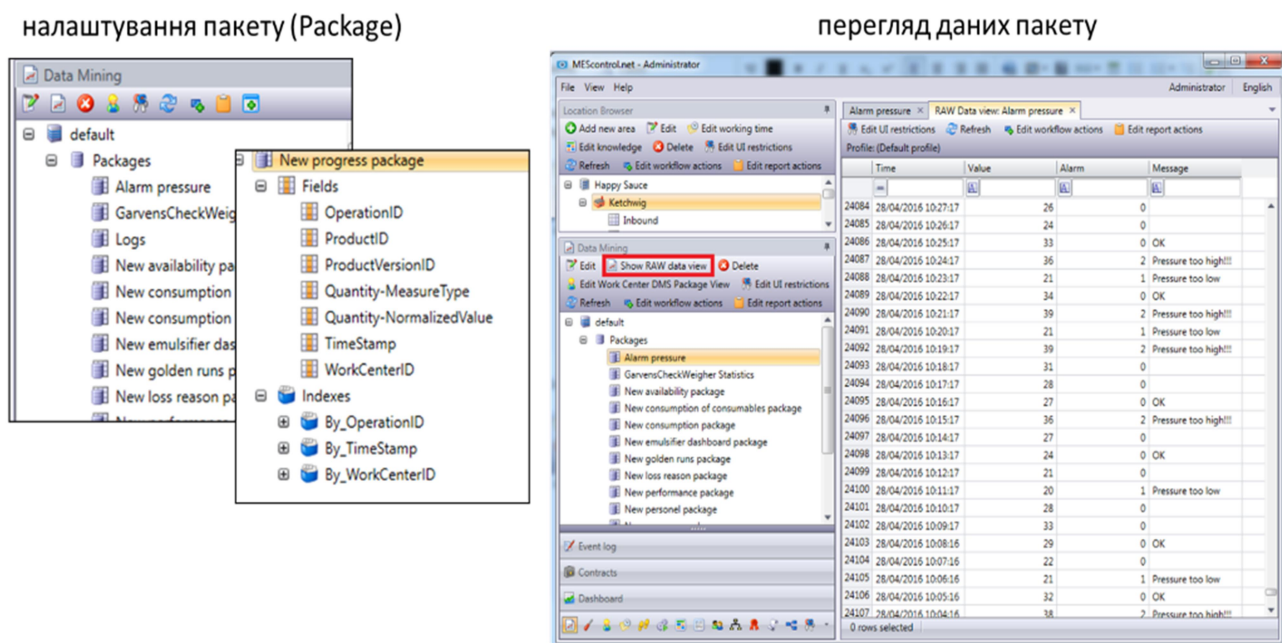
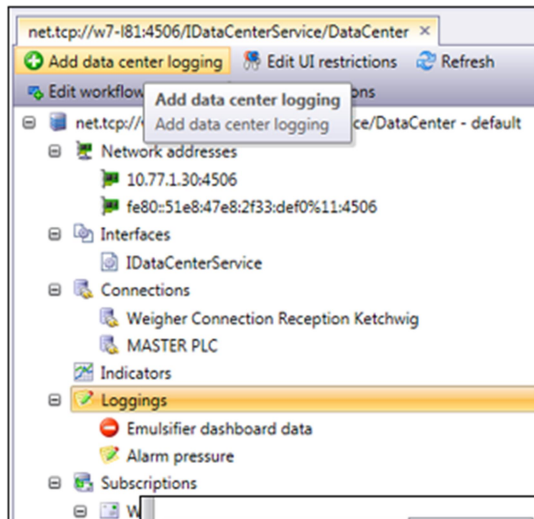


Рисунок 8.7 – Приклад налаштування пакетів даних

Далі в сервері даних (рис.8.8) конфігурується параметри збирання для вказаних пакетів (Loggins). Тут налаштовується періодичність або події, при яких відбувається запис. Потім для кожного поля пакети означається джерело даних, звідки будуть братися значення.

налаштування збору даних для пакету



налаштування властивостей збору і архівування

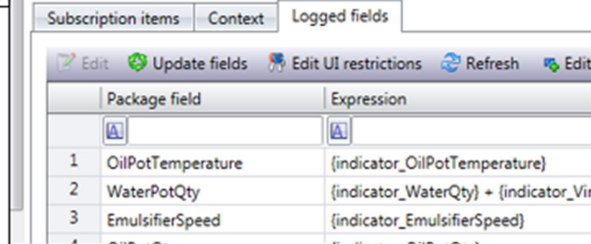
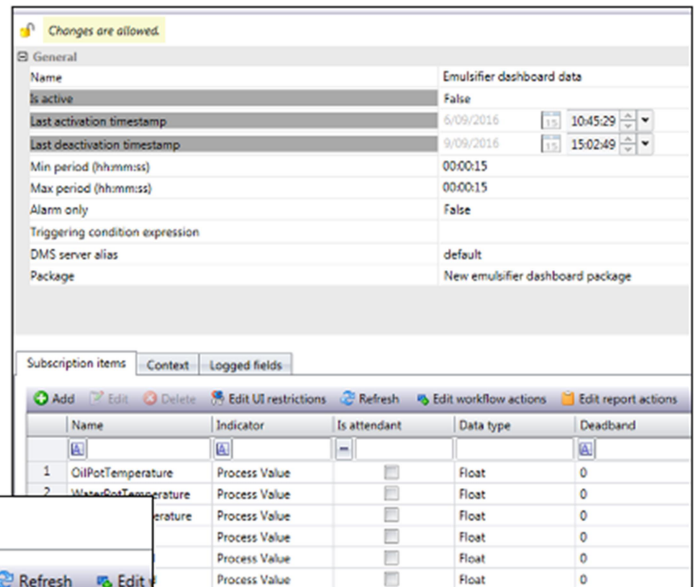


Рисунок 8.8 – Приклад налаштування збору даних для пакетів

Інформація про роботу робочих центрів також фіксується в DMS. Ця діяльність конфігурується безпосередньо в налаштуваннях робочих центрів (див. рис.8.9). Тут достатньо активувати та налаштувати наперед визначені пакети для даних прогресу (кількість якісної і бракованої продукції), стани робочого центру (працює, зупинений), дії персоналу. Також там активуються пакети для автоматичного розрахунку KPI.

наперед визначені пакети для KPI

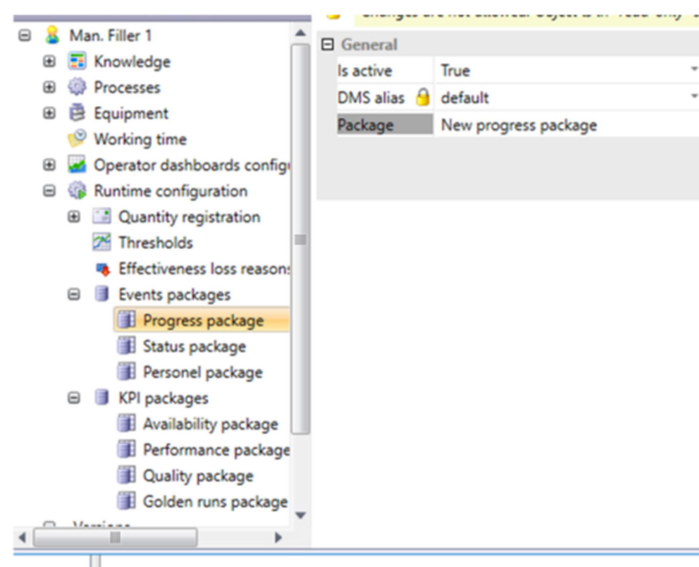


Рисунок 8.9 – Приклад налаштування збору даних для робочих центрів

Контрольні питання

1. Які діяльності відносяться до диспетчерування виробництва?
2. Як диспетчерування пов'язано з іншими діяльностями керування виробничими операціями?
3. Яке призначення діяльності керування виконанням та як вона пов'язана з іншими діяльностями?
4. Які діяльності відносяться до збору даних?
5. Як збір даних пов'язаний з іншими діяльностями?
6. Наведіть приклад реалізації збору даних в системі MOM.

9. Аналіз ефективності

9.1. Діяльності аналізу ефективності в системі MOM

Аналіз ефективності основного виробництва повинен означуватися як набір діяльностей, які проводять аналіз виробничих процесів та передачі показників ефективності бізнес-системам з метою покращення. Це включає аналіз інформації про час циклу виробництва партій продукції, використання ресурсів, використання устаткування, ефективність устаткування, ефективність процедури та змін основного виробництва.

Взаємозв'язки між різними аналітичними показниками можуть бути використані для формування KPI-звітів. Ця інформація може бути задіяна для оптимізації виробництва та використання ресурсів. Звіти можуть надаватись за розкладом, наприкінці виробничих циклів або партій, а також на вимогу.

Процес аналізу ефективності основного виробництва має неперервний характер. Тобто після визначення та усунення вузьких місць можуть виникнути інші системні обмеження. Крім того, зміна кон'юнктури ринку та рецептів може змінити критерії оптимізації та системні обмеження. В умовах постійних змін проведення аналізу ефективності основного виробництва також регулярно переглядаються.

На рис.9.1 показана взаємодія з іншими діяльностями керування основним виробництвом.



Рисунок 9.1 – Інтерфейси моделі діяльності аналізу ефективності основного виробництва

[6]

Аналіз ефективності основного виробництва може включати кілька етапів:

- підготовку звітів про результати діяльності та вартість;
- оцінку обмежень на потужність та якість;
- проведення випробувань на працездатність, де це необхідно для визначення потужності;
- порівняння різних виробничих ліній та створення середніх або цільових показників виробничих циклів;
- порівняння та протиставлення показників виробничих циклів;
- порівняння виробничих циклів для виявлення "золотих";
- визначення того, чому "золоті" виробничі цикли є винятковими;
- порівняння виробничих циклів із визначеними «золотими»;
- надання змін до процесу та процедур на основі результатів аналізу для подальшого вдосконалення процесу;
- прогнозування результатів виробничого циклу на основі поточних та минулих показників; це може включати генерацію виробничих показників;
- співвіднесення вимог в сегментах продукту з дійсними умовами проходження процесу на момент виробництва.

Як видно з наведеного вище переліку діяльності по аналізу ефективності можуть передбачати як прості так і складні алгоритми та розрахунки, різноманітні практики, методи та засоби, які не обмежуються стандартом.

Одним із напрямів діяльності в рамках аналізу продуктивності виробництва є створення ключових показників ефективності (KPI), які описані нижче. Ця інформація може використовуватися всередині виробничих операцій для вдосконалення та оптимізації і може бути відправлена в бізнес-процеси вищого рівня для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Керування ефективністю повинно означуватись як набір діяльностей, які систематично фіксують, керують та представляють інформацію про результати діяльності в послідовних рамках. Сюди входить використання коригуючих дій для впливу на поліпшення операцій. Є цінність бізнесу для приведення у відповідність виробничих показників нижчого рівня до основних цілей бізнесу.

Деякі типові функції рішень для керування ефективністю є наступними:

- моніторинг для забезпечення видимості KPI;
- вміння використовувати інформацію KPI у моделі;
- аналіз причин;
- прогнозування майбутніх значень KPI;
- можливість приймати контроль на основі значень KPI.

Одним з основних напрямків діяльності щодо керування ефективністю є перетворення великого обсягу необроблених даних у діючу інформацію. Для аналізу даних про ефективність у виробництві зазвичай використовується ієрархічна модель, яка може узгоджуватися з моделлю устаткування. Показники ефективності, яких не видно, значно знижують значення керування ефективністю. Це можна порівняти зі звітами, які мають тисячі значень на одній сторінці. Можливо, необхідна класифікація KPI, коли ті, що мають більший вплив на підприємство, мають більшу видимість.

Керування продуктивністю має аспекти, які пронизуються протягом всієї моделі діяльності. Керування основним виробництвом, технічним обслуговуванням, якістю та керування запасами має критичні показники, які важливі не тільки для цієї функції, але й використовуються в інших функціях.

9.2. Ключові показники ефективності

Взаємозв'язок і залежності KPI

Типовими і найпростішими способами аналізу є формування показників ефективності, відображення їх на консолях керування з ціллю оцінки оператором. На додаток до формально означеної моделі даних про ефективність, означеної в ІЕС 62264-2, є додаткова інформація про операції, що надає підсумки ефективності в минулому, вказівки на майбутнє виконання або показники можливих майбутніх проблем. У сукупності ця інформація визначається як **KPI (КПЕ, ключові показники ефективності)**. Для формування таких показників необхідна інформація про виробничі цикли, статуси устаткування, дані про використання ресурсів, які надаються з функції збору даних (див попередню лекцію). Крім того, для розрахунку KPI потребуються їх означення, які можуть бути закладені як в ресурсах так і в означенні продукту. Нагадаємо, що перелік рекомендованих KPI затверджено в стандартах ISO 22400, який також прийнято в Україні методом підтвердження [11-13]. З деякими деталями ви можете ознайомитися на сайті www.tk185.appau.org.ua

При виконанні виробничих операцій проводиться оцінка результатів і порівняння їх з цілями бізнесу можуть бути виражені в технічних або економічних термінах. Ці оцінки базуються на оцінках продуктів, процесів, послуг і ресурсів, оскільки вони пов'язані з продуктивністю операцій. Порівняння з бізнес-цілями залежить від вибраних заходів і показників, узгоджених із цілями, і від тих показників, які використовуються для визначення дій у домені MOM для досягнення бізнес-цілей. До певної міри узгодження показників і показників із домену MOM із бізнес-цілями відображає якість інтеграції підприємства.

- відносини є результатом зміни одного KPI, що впливає на інші KPI.

- залежності є результатом KPI, який використовується для обчислення інших KPI.

На рис.9.2 показані залежності KPI від процесів та між собою.

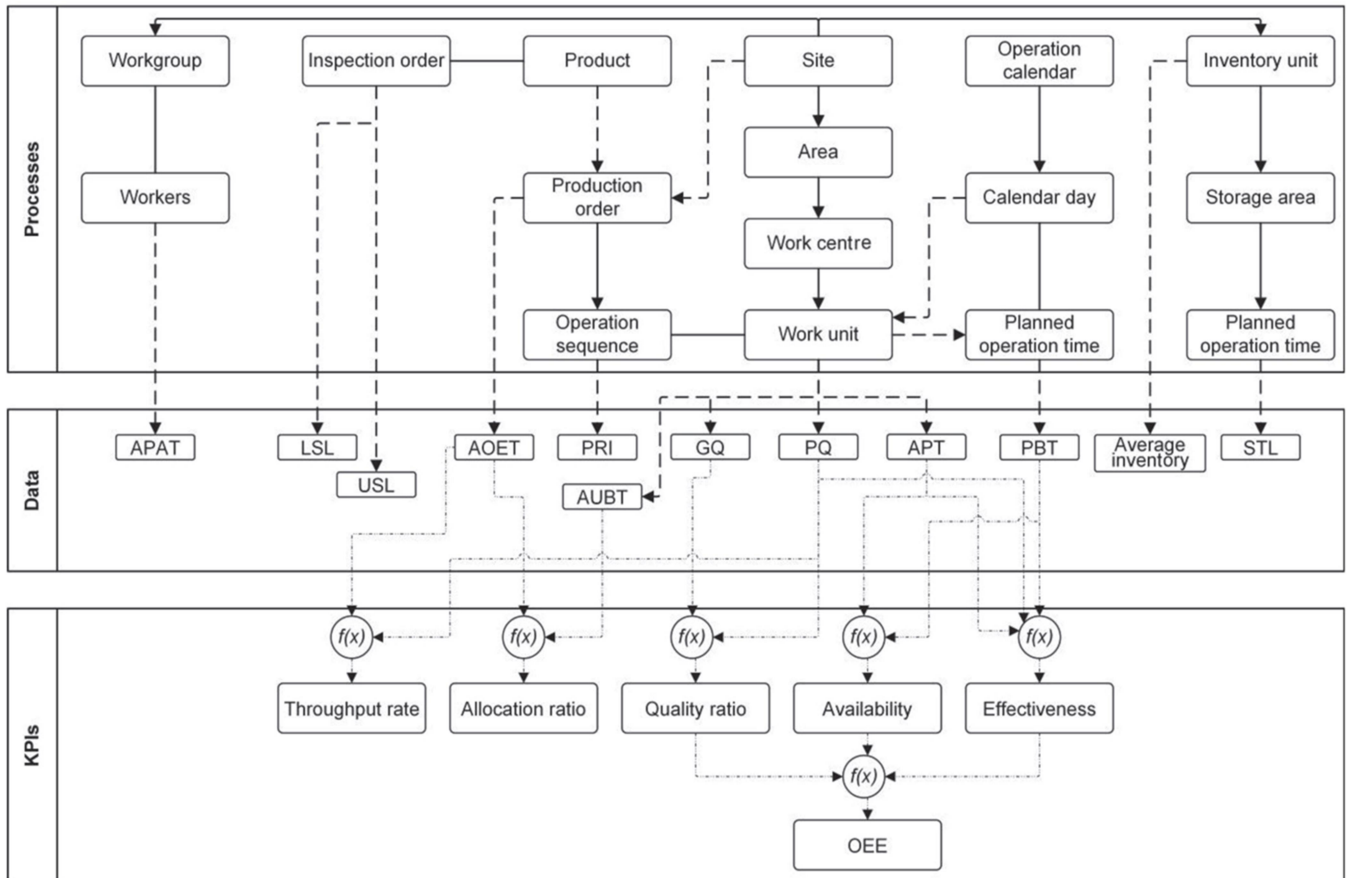


Рисунок 9.2 – Модель, що представляє взаємозв'язок і залежності KPI [11,12]

Загальний вигляд OEE

Детальніше про KPI можна почитати в [20]. Тут розглянемо тільки найбільш популярний виробничий KPI - **OEE** (Overall equipment effectiveness, **ЗЕО** загальна ефективність обладнання). Цей показник надає у відсотковій шкалі значення ефективності устаткування, яке вимірюється як добуток трьох складових:

- Availability (Доступність)
- Performance (продуктивність) або Effectiveness (ефективність)
- Якість (Quality)

$$\text{A} \times \text{P} \times \text{Q} = \text{OEE}$$

$$\text{OEE} = \text{Availability} \times \text{Performance(Effectiveness)} \times \text{Quality}$$

ОЕЕ можна вираховувати для устаткування різних рівнів ієрархії, яке передбачає планування, як правило це Робочий центр (Work Center) та Робочий вузол (Work Unit). Чи ближче ОЕЕ наближається до 100% тим краще працює устаткування з точки зору ефективності. На діаграмі впливу (рис.9.3) показаний загальний принцип розрахунку ОЕЕ для робочого вузла.

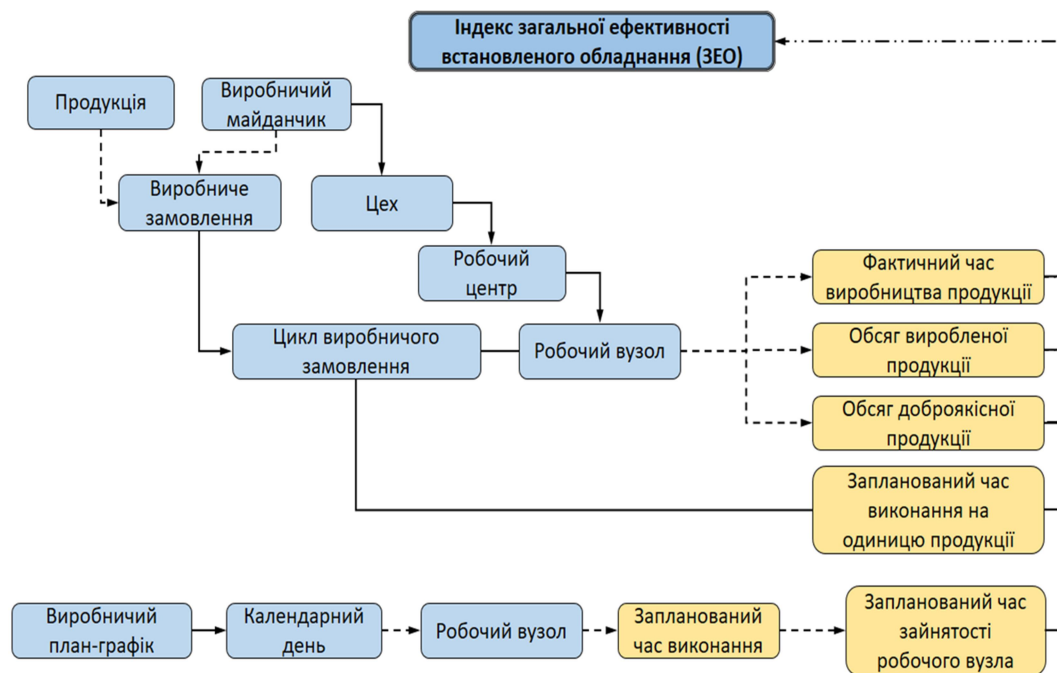


Рисунок 9.3 – Діаграма впливу для ОЕЕ (ЗЕО) [20]

Як видно з рисунку в розрахунку кожного із множників впливають:

- Запланований час зайнятості робочого вузла
- Запланований час виконання на одиницю продукції
- Фактичний час виготовлення продукції
- Обсяг доброякісної продукції
- Обсяг виробленої продукції

Методики розрахунку ОЕЕ можуть відрізнятися. У 2-й частині стандарту ISO 22400 наводяться кілька з них.

Часові величини

ОЕЕ пов'язані з часовими (time) величинами (див. рис.9.2), в стандарті даються їх означення.

Для устаткування вони матимуть наступний вигляд (рис.9.4):

- POT - Плановий час роботи (Planned operation time)
- PBT - Плановий час зайнятості устаткування (Planned busy time) = POT - planned down time (плановий час простою)
- ADOT - Фактичний час простою устаткування (Actual unit down time)
- AUBT - Фактичний час зайнятості устаткування (Actual unit busy time) = PBT - ADOT
- ADET - Фактичний час затримки устаткування (Actual unit delay time)
- AUPT - Фактичний час роботи устаткування (Actual unit processing time) = AUBT - ADET
- ASUT - Фактичний час підготовки (Actual setup time)
- APT - Фактичний виробничий час (Actual production time) = AUPT – ASUT

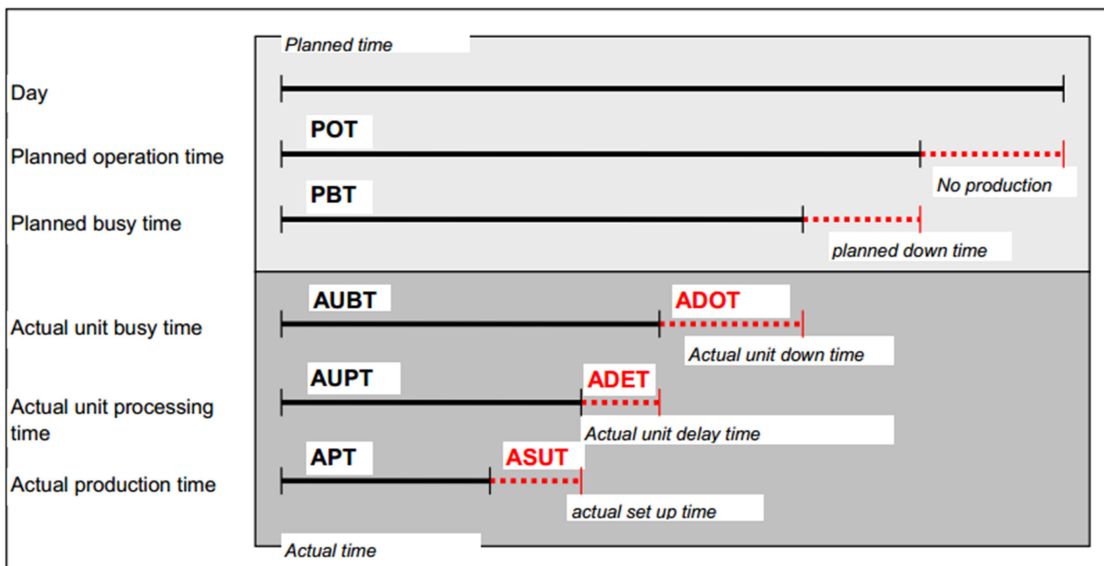


Рисунок 9.4 – Часові величини для одиниці устаткування (Unit) [11,12]

Для оброблення замовлення на устаткованні часові величини матимуть наступний вигляд (рис.9.5):

- РОЕТ - Плановий час виконання замовлення (Planned order time)
- АОЕТ - Фактичний час виконання замовлення (Actual order execution time)
- АТТ - Фактичний час транспортування (Actual transport time)
- АQT - Фактичний час перебування матеріалу в черзі (Actual queuing time)

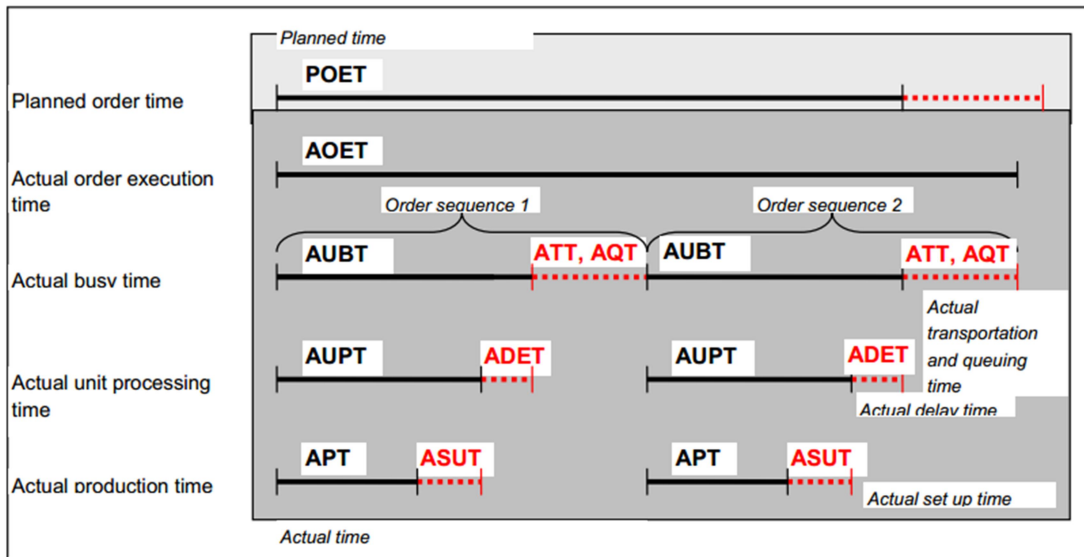


Рисунок 9.5 – Часові величини для оброблення замовлення [11,12]

Показник доступності

Показує повноту використання доступного часу робочого устаткування. Розраховується у % за формулою:

$$\text{Availability} = \text{APT} / \text{PBT}$$

- АРТ - Фактичний виробничий час (Actual production time)
- РВТ - Плановий час зайнятості даного устаткування (Planned busy time)

Чим більше цей показник - тим краще. Як видно з формули, фактичний виробничий (чистий) час роботи устаткування має бути максимально наближений до його запланованої зайнятості, що передбачає зменшення часу простою, затримок на запуск та переналаштування.

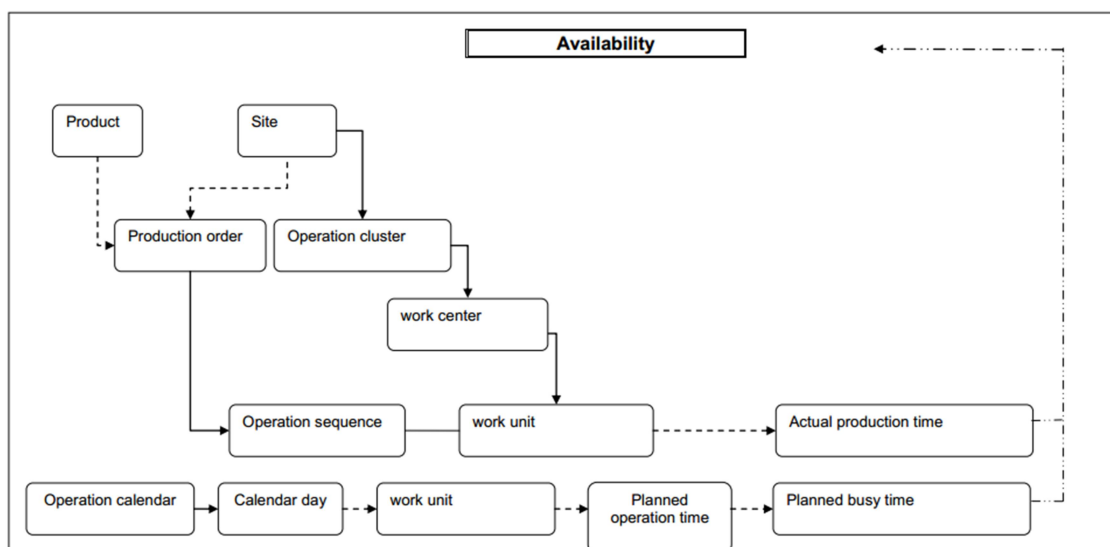


Рисунок 9.6 – Діаграма впливу для Availability [11,12]

Даний показник входить до ОЕЕ але може використовуватися окремо.

Ефективність, продуктивність, ККД

$$\text{Effectiveness} = \text{PRI} * \text{PQ} / \text{APT}$$

- PRI - Плановий час роботи на одиницю продукції (Planned run time per item)
- PQ – Кількість Продукту (Product Quantity)
- APT - Фактичний виробничий час (Actual production time), протягом якого виробляється продукція

Ефективність може бути розрахована за короткі періоди і вказує на те, наскільки ефективним буде устаткування протягом часу виробництва. У розрахунку використовується запланований час виконання для одиниці продукції (PRI), також відомий як час циклу. Це означає, скільки часу потрібно для виробництва фіксованої кількості виробленого матеріалу. Методології серійного та безперервного виробництва зазвичай виражають очікуваний обсяг виробництва за певний час як кількість, яку можна виробити за певний період часу (наприклад, шт/годину). Це значення є зворотним елементом PRI і може бути перетворено в PRI шляхом визначення фіксованої кількості виробленого матеріалу.

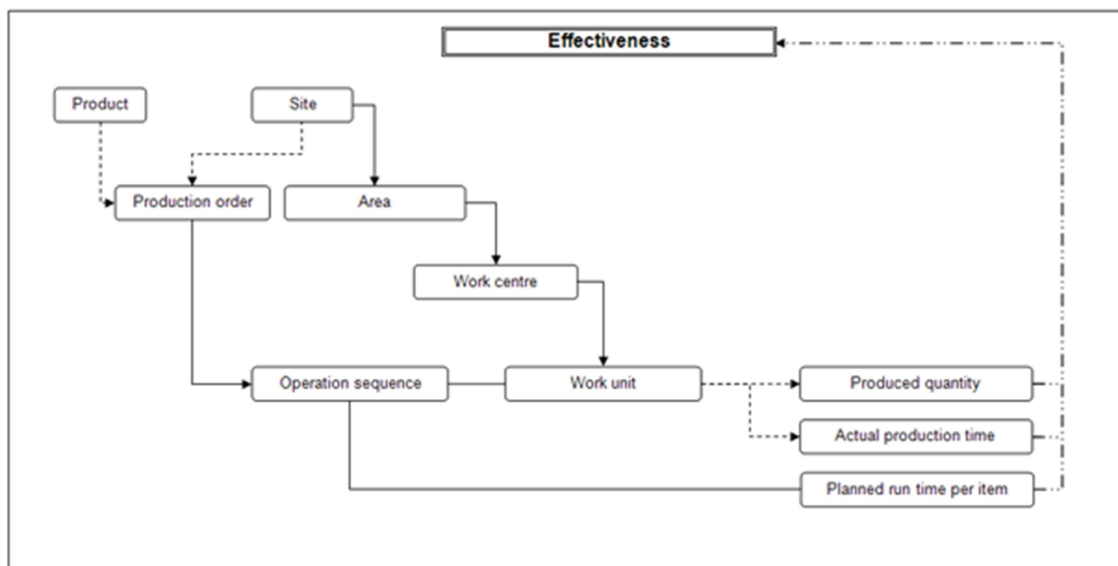


Рисунок 9.7 – Діаграма впливу для Effectiveness [11,12]

Як і в попередньому випадку, цей показник вимірюється в діапазоні 0-100% і повинен бути якомога вище. Він показує на скільки продуктивно працює устаткування. Даний показник входить до ОЕЕ але може використовуватися окремо.

Коефіцієнт якості

Коефіцієнт якості показує співвідношення кількості якісної продукції до загальної кількості:

$$\text{Quality ratio} = \text{GQ} / \text{PQ}$$

- GQ - Кількість якісної продукції (Good quantity)
- PQ - Виготовлена кількість (Produced quantity)

Чим ближче показник до 100%, тим краще. Даний показник входить до ОЕЕ але може використовуватися окремо.

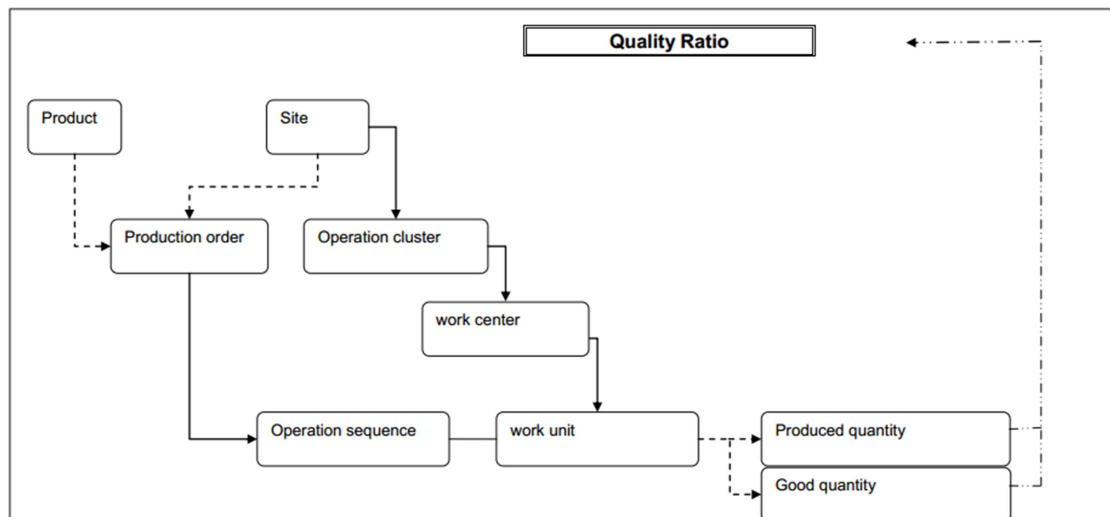


Рисунок 9.8 – Діаграма впливу для Quality ratio [11, 12]

9.3. Приклад ОЕЕ у системі MOM

На прикладі Momentum розглянемо, як може проводитися процес формування та виведення показників ефективності для робочого центру.

Реєстрація якісного і неякісного продукту

Для визначення кількості продукції за одиницю часу для робочого центру налаштовуються відповідні параметри в Runtime Configuration (рис.9.9). При цьому можна вказувати як пару загальну та неякісну продукцію так і якісну та неякісну.

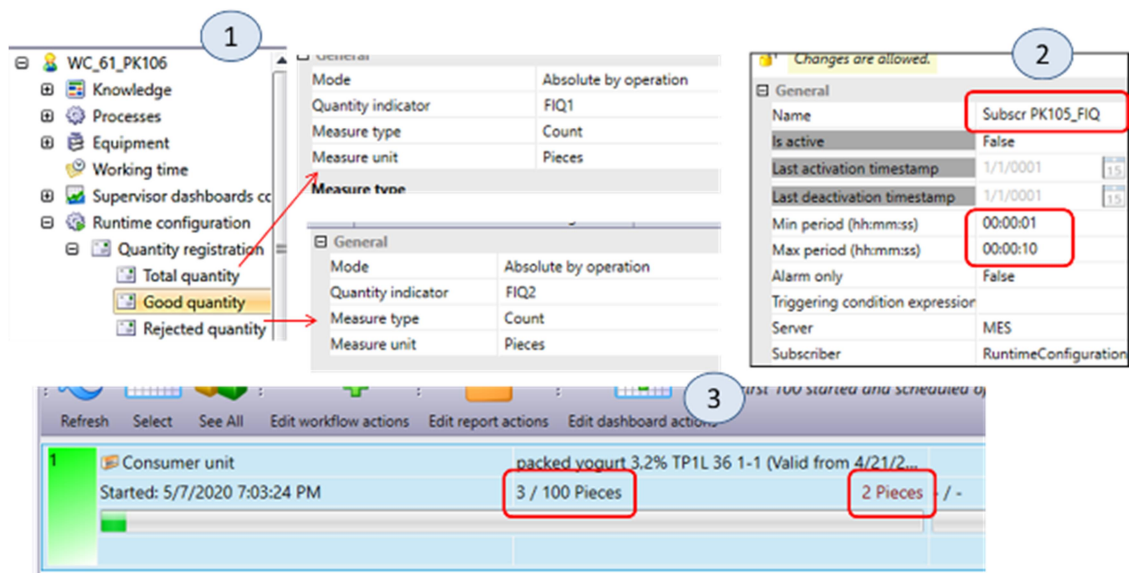


Рисунок 9.9 – Вимірювання кількості якісної і неякісної продукції

Реєстрація статусу і прогресу в DMS

Для визначення часу втрати швидкості та нештатної зупинки необхідно архівувати кількісні показники в DMS. Для цього передбачені спеціалізовані формати пакетів та відповідні діяльності:

- Progress package - для реєстрації кількості продукту
- Status Package - для реєстрації стану, коли робочий центр працює (1) або зупинений (0)

Порівняння записаних в базу даних показників з плановими дає можливість визначити час зниження продуктивності, нештатну зупинку робочого центра, та вказати причини. Для розрахунку KPI також використовуються спеціалізовані пакети. У Momentum є наперед визначена функціональність розрахунку OEE. У Momentum для розрахунку OEE використовується формула:

$$OEE = Availability * Performance * Quality$$

$$Availability = (WorkingTime - DownTime) / WorkingTime$$

WorkingTime - робочий час даного устаткування, DownTime - час простою. WorkingTime рахується як час коли операція знаходилася в стані роботи, тоді як DownTime, коли на виході не було продукції. Цей показник зберігається в Availability package

Показник якості розраховується як співвідношення хорошої кількості до загальної.

$$Performance = Actual\ performance / planned\ performance,$$

де *Performance* - продуктивність, *Actual performance* - дійсна продуктивність, *Planned performance* - планова продуктивність. Дійсна продуктивність розраховується на основі дійсного приросту кількості (*Actual quantity*) за період часу (*Actual duration*):

$$Actual\ performance = Actual\ quantity / Actual\ duration$$

За цей же час рахується планова продуктивність (пояснення дано в наступному пункті):

$$Planned\ performance = Planned\ quantity / Planned\ duration$$

Ці дані заносяться в пакет *Performance package*.

Доступність (*Availability*) розраховується як співвідношення дійсного робочого часу до запанованого робочого:

$$Quality = Good\ Count / Total\ Count$$

Для цього показника також означається окремий пакет *DMS*.

У цьому прикладі показано як для *WC_XX_PK106* конфігурувати реєстрацію в *DMS (Package)*:

- кількість виробленого продукту
- статуси для робочого центру
- пакетів для KPI

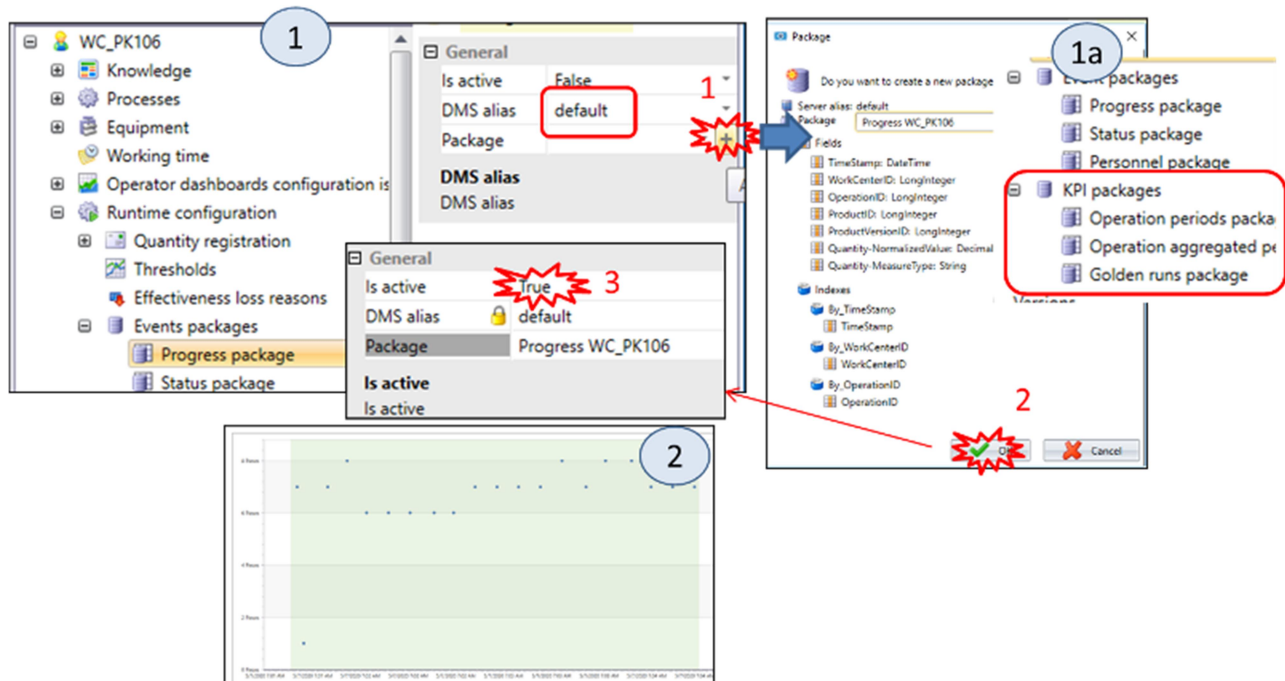


Рисунок 9.10 – Реєстрація статусу та прогресу в DMS

Спочатку створюється і прив'язується *Progress Package* (рис.9.10(1)) з назвою *Progress WC_XX_PK106* з вікна робочого центру *WC_XX_PK106*. Відповідно пакет буде використовуватися для

реєстрації кількості продукту. Аналогічним чином створюється Status Package з ім'ям Status WC_XX_PK106. Цей пакет буде використовуватися для реєстрації початку і кінця запуску і зупинки операцій продукту. Аналогічним чином створюється 3-ри KPI пакета (рис.9.10 (1a)):

- Operations Period Package
- Operations Agreagated Period Package
- Golden runs

Після таких налаштувань в розділ KPI на вкладці Registration (рис.9.4(2)) в інформаційній панелі робочого центру можна побачити інформацію про кількість продукції з кожним відрізком часу.

Аналіз OEE

Для розрахунку деяких KPI у тому числі OEE, необхідно визначати моменти втрати швидкості (продуктивності) і зупинки. Для цього використовується прогнозування очікуваної кількості при певній плановій продуктивності. Враховуючи можливі відмінності прогнозованих характеристик в залежності від продуктивності різного типу продукту, у Momentum використовується Thresholds для різних продуктивностей. Алгоритм прогнозування базується на очікуванні того, що виконується реєстрація прогресу з деяким ритмом. Якщо протягом певного періоду не виконується реєстрація з очікуваним ритмом або прогресом на кожну реєстрацію, меншу ніж очікувалося, цей період буде відмічено як час простоювання (**down-time**) або втрата швидкості (**speed-loss**).

Прогноз втрати швидкості (Speed loss prediction) або прогноз простоювання (downtime prediction) базуються на реєстрації необроблених даних і налаштуваннях порогів (thresholds). Планова продуктивність розраховується як планова кількість поділена на планову тривалість:

$$\text{Operation planned performance} = \text{Planned quantity} / \text{Planned duration}$$

Ці планові величини розраховуються при плануванні і залежать від версії робочого центру, в якій задаються кількість та час, а також від налаштувань зв'язків між робочими центрами в маршрутній діаграмі. Так, наприклад при налаштуваннях зв'язків Dependency type рівним End-End, планова продуктивність може бути меншою ніж означена в версії робочого центру, так як буде підлаштовуватися під менш продуктивний робочий центр в матеріальному ланцюжку.

Кожен запис в налаштуваннях Thresholds має параметри Performance number та Performance period. Ці параметри означають заплановану продуктивність, для якої даний запис використовується в розрахунку в алгоритмі прогнозування.

$$\text{Planned performance} = \text{Performance quantity} / \text{performance period.}$$

Кожен запис має декілька параметрів:

- **Performance quantity** (значення для продуктивності) і **performance period** (період для продуктивності) означають, для яких планових показників роботи параметри цього запису повинні бути вибрані для розрахунку; при виборі запису буде враховуватися найбільш відповідне значення продуктивності
- **Downtime** (порогові значення часу простоювання) и **speed-loss** (втрати швидкості) означають рівень від запланованої швидкості, коли повинен реєструватися час простоювання або втрати швидкості.
- **Registration period** (Період реєстрації) означає, як часто очікується запис в прогрес реєстрації (залежить від означення підписки параметра устаткування).
- **Queue size** (Розмір черги) - це параметр, який означає, як розраховується середня продуктивність (average performance). Коли це значення велике, не видно коротких втрат швидкості і простоювання, якщо маленьке - значення дуже чутливе до всплесків.

На рис.9.11(1) показаний приклад налаштування Thresholds для робочого центру WC_XX_RK106 для визначення середнього значення, втрати швидкості і визначення зупинки, а також відображення їх на вбудованих в моделі Operator графіках.

На рис.9.11(2) показаний приклад відображення OEE, на рис.9.11(3) Progress, на рис.9.11(4) Performance , на рис.9.11(5) Registration . Зверніть увагу на уставки і діапазони втрати швидкості (speed loss) і простою (Down Time).

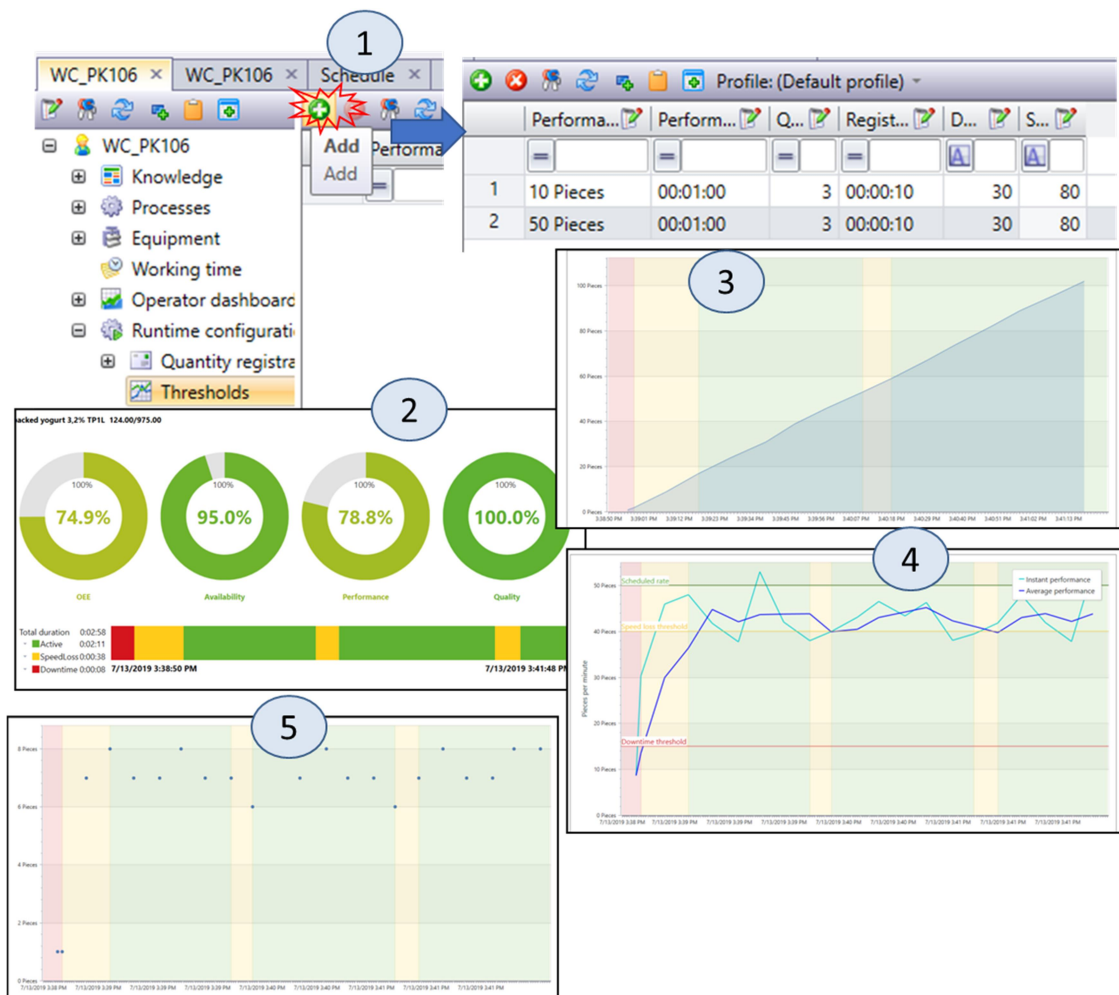


Рисунок 9.11 – Вікна відображення KPI

Аналіз ефективності (втрат швидкості та простою)

Для аналізу причин поганої ефективності можна використати інше вікно робочого центру – Performance (рис.9.12). На таких графіках можна побачити як в часі змінювалася продуктивність операції. Ця діаграма складається з 2 ліній:

- миттєве значення продуктивності (Instant performance) показує значення, розраховане з моменту останньої реєстрації (поточне значення, поділене на час, що минув з попередньої реєстрації);
- середнього значення продуктивності (Average performance) показує продуктивність, розраховану для кількох реєстрацій; розмір буферу впливає на те, наскільки гладкою буде ця лінія в порівнянні з лінією миттєвої продуктивності.

Ця діаграма може мати кілька горизонтальних прямих ліній:

- Max rate – представляє максимальну продуктивність робочого центру;
- Scheduled rate – показує заплановані (очікувані) показники; він розраховується як кількість операцій, поділена на планову кількість;

- Speed loss – коли середня продуктивність падає нижче цього рівня, цей період вважається періодом втрати швидкості;
- Downtime – коли середня продуктивність падає нижче цього рівня, цей період вважається періодом простою.

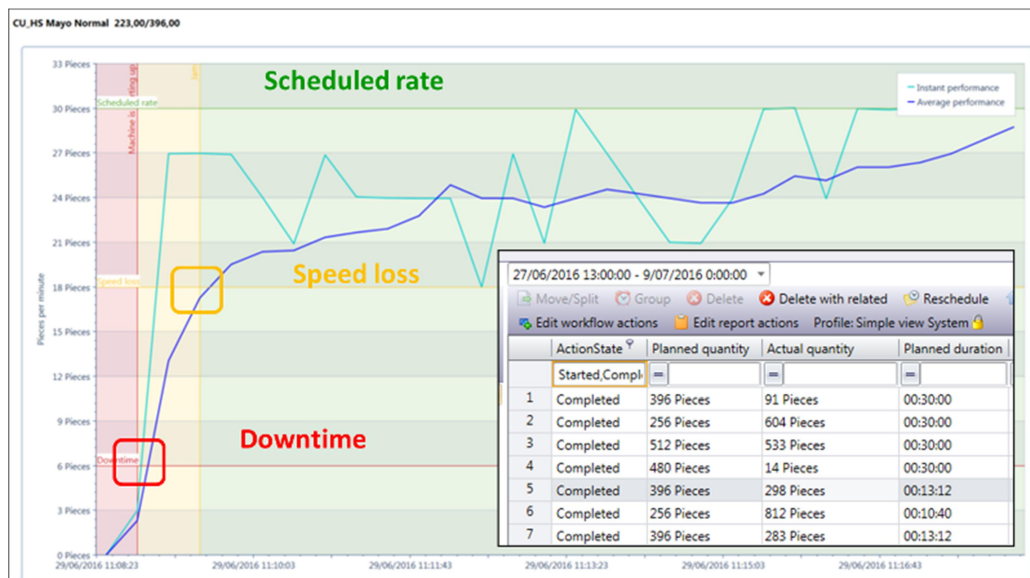


Рисунок 9.12 – Приклад аналізу ефективності в Momentum [16]

9.4. Простежуваність

Окрім аналізу наведених вище ключових показників ефективності основного виробництва, можуть проводитися і інші аналізи, деякі з них наведені нижче.

Аналіз простежуваності ресурсів означається як сукупність діяльностей, що відслідковують історію всіх ресурсів (матеріалів, устаткування та персоналу) з точки зору дії процесу та подій, які стосуються ресурсів на виробництві. Він може включати аналіз:

- матеріалів, що виробляються, споживаються, зберігаються та переміщуються;
- устаткування, яке використовується у виробництві, перевірки та зберіганні;
- персонал, який бере участь у виробництві, зберіганні матеріалу та експлуатації устаткування.

Простежуваність ресурсів має два компоненти - стеження та простежування.

1. Стеження – це процес відстеження та запису руху, а також зміни ресурсів і запис усіх входів на ресурс через усі етапи та агенти.
2. Простежування - це процес, який визначає історію використання ресурсу з будь-якої точки, вперед або назад, використовуючи інформацію стеження.

Тестування якості продукції - одна з видів виробничих операцій. Тестування може бути лінійним, он-лайн або офлайн. Аналіз продукту також включає офлайн-аналіз, який зазвичай проводять у лабораторіях, та керування процедурами контролю якості.

Діяльність щодо аналізу продукції (забезпечення якості) включає відображення інформації в процесі роботи, наприклад статистичного контролю процесів (SPC) або статистичного контролю якості (SQC). Керування якістю обробляє процедури тестування якості та часто підтримує результати тестування якості.

Аналіз процесів забезпечує зворотній зв'язок щодо конкретних виробничих процесів у кількох виробничих циклах або партіях. Ця інформація використовується для оптимізації або модифікації конкретних виробничих процесів. Діяльність включає аналіз поганих виробничих циклів для визначення першопричини та аналіз виробничих циклів виняткової якості для визначення оптимальних умов експлуатації. Аналіз процесів часто включає SPC/SQC аналіз та моделювання процесів і використовує інформацію, зібрану з декількох видів діяльності, які вимірюють робочі параметри.

Імітаційне моделювання часто використовується для моделювання того, як матеріал протікає через завод і для оцінки того, як процес реагує на зміни. Можна моделювати зміни в процесі, зміни в маршрутизації виробництва або зміни в процедурах виготовлення. Він також може бути використаний для прогнозування властивостей матеріалу на основі поточних умов експлуатаційного процесу. Імітаційне моделювання може використовуватися протягом життєвого циклу установки для відстеження ефективності, відстеження наслідків змін та для навчання операторів.

Приклад простежуваності в Momentum показаний на рис.9.13. На ньому з вибраного замовлення рис.9.13(1,2) виводиться маршрут для простежуваності виготовлення продукту (рис.9.13(3)). Натискаючи на робочі центри, зони зберігання, можна подивитися інформацію про виготовлення лоту.

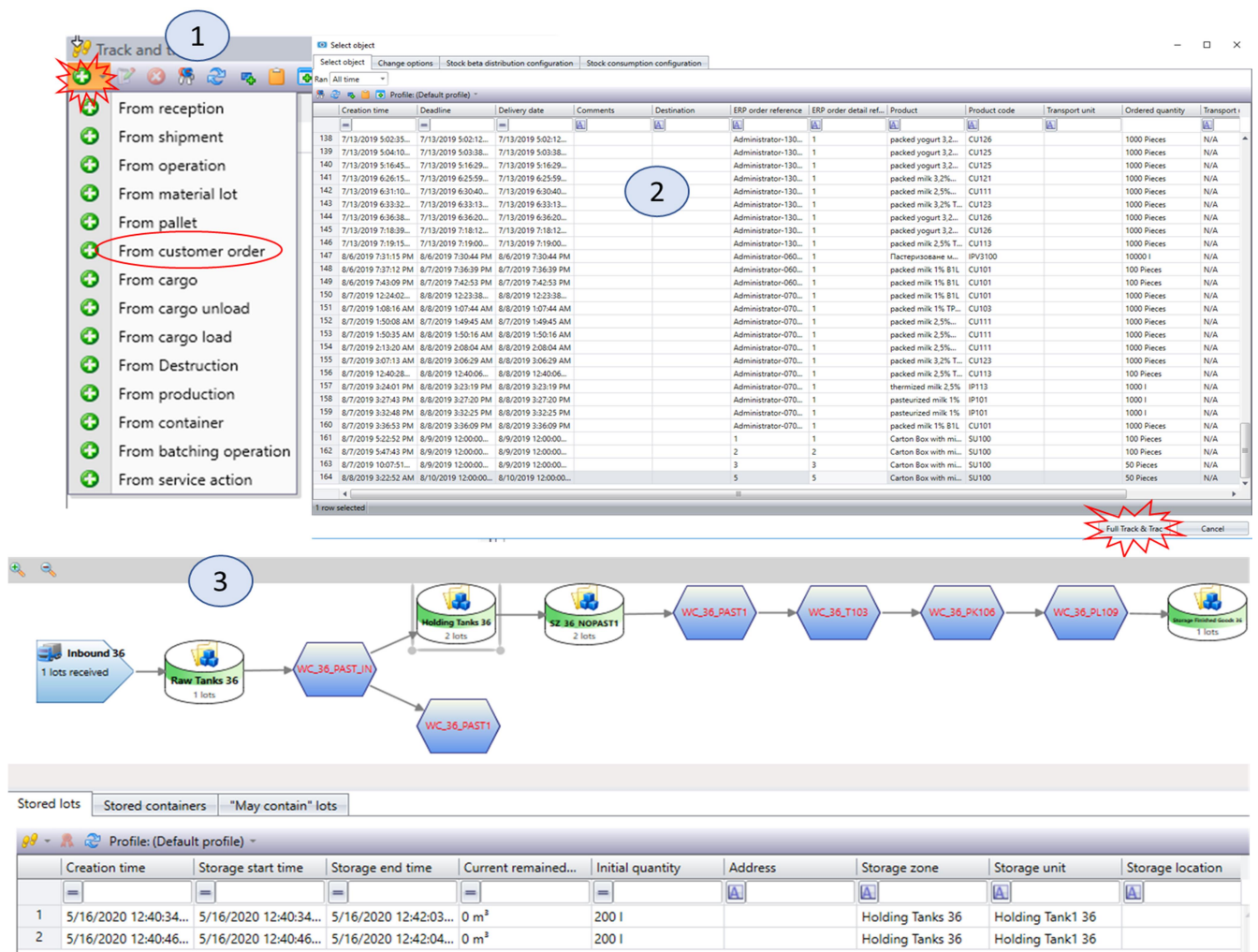


Рисунок 9.13 – Приклад простеження продукту у Momentum

Контрольні питання

1. Розкажіть яке призначення аналізу ефективності.
2. З якими іншими діяльностями MOM взаємодія функція аналізу ефективності?
3. Які діяльності входять до керування ефективністю?
4. Яке призначення виробничих показників ефективності?
5. Розкажіть про призначення OEE. На основі яких показників розраховується OEE?
6. Розкажіть про часові величини які враховуються при розрахунку показників ефективності.
7. Яке призначення показника доступності і як він розраховується?
8. Яке призначення показника ефективності і як він розраховується?
9. Яке призначення коефіцієнт якості і як він розраховується?
10. Покажіть на прикладі як відбувається реєстрація якісного і неякісного продукту.
11. Покажіть на прикладі як відбувається реєстрація статусу і прогресу в DMS.
12. Покажіть на прикладі як відбувається аналіз OEE.

13. Покажіть на прикладі як відбувається визначення втрат аналізу ефективності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.

1. NISTIR 8107. Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems. Yan Lu, KC Morris, Simon Frechette, 2016, <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.8107>
2. Стандарти інтегрування систем керування підприємством та виробництвом: сучасний стан та перспективи в Україні [Електронний ресурс] / О. М.Пупена, О. М. Клименко, Р. М. Міркевич, А. В. Шишак // Технічний комітет 185 «Промислова автоматизація». – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://tk185.appau.org.ua/whitepapers/62264.pdf>.
3. ДСТУ EN 62264-1:2019 Інтегрування систем керування підприємством та виробництвом. Частина 1. Моделі та термінологія (EN 62264-1:2013, IDT; IEC 62264-1:2013, IDT)
4. Marc Halpern. Master Data Management: A Manufacturing Solution or Sinkhole? It Depends on Your Planning! // Презентація на конференції Gartner Announces Enterprise Information & Master Data Management Summit 2014. <https://docplayer.net/5030018-A-manufacturing-solution-or.html>
5. ДСТУ EN 62264-2:2019 . Інтегрування систем керування підприємством та виробництвом. Частина 2. Об'єкти й атрибути для інтегрування систем керування підприємством та виробництвом (EN 62264-2:2013, IDT; IEC 62264-2:2013, IDT)
6. ДСТУ EN 62264-3:2019 . Інтегрування систем керування підприємством та виробництвом. Частина 3. Моделі діяльності керування виробничими операціями (EN 62264-3:2017, IDT; IEC 62264-3:2016, IDT)
7. ДСТУ EN 62264-4:2019 Інтегрування систем керування підприємством та виробництвом. Частина 4. Атрибути моделей об'єктів для інтегрування підсистем керування виробничими операціями (EN 62264-4:2016, IDT; IEC 62264-4:2015, IDT)
8. Сайт технічного комітету з питань промислової автоматизації. <https://tk185.appau.org.ua/62264/standard-iec-62264/mek62264/>
9. Пупена О. М. Принципи функціонування систем керування основним виробництвом через призму стандарту ІЕС-62264 [Електронний ресурс] / О. М. Пупена, О. М. Клименко, Р. М. Міркевич // Технічний комітет 185 «Промислова автоматизація». – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://tk185.appau.org.ua/guide/aCampus-users-guides-IEC62264+++pdf>.
10. ДСТУ EN 61512-1:2019 Керування рецептурним виробництвом. Частина 1. Моделі та термінологія (EN 61512-1:1999, IDT; IEC 61512-1:1997, IDT)
11. ДСТУ ISO 22400-1:2019 Автоматизовані системи керування виробництвом. Ключові показники ефективності (KPIs) для керування виробничими процесами. Частина 1. Огляд, загальні положення та термінологія (ISO 22400-1:2014, IDT)

12. ДСТУ ISO 22400-2:2019 Автоматизовані системи керування виробництвом. Ключові показники ефективності (KPIs) для керування виробничими процесами. Частина 2. Визначення та описання (ISO 22400-2:2014, IDT)
13. ДСТУ ISO/TR 22400-10:2019 Автоматизовані системи керування виробництвом. Ключові показники ефективності (KPIs) для керування виробничими процесами. Частина 10. Описання робочих операцій отримання даних (ISO/TR 22400-10:2018, IDT)
14. OPC 10030: ISA-95 Common Object Model <https://reference.opcfoundation.org/ISA-95/v100/docs>
15. Dennis Brandl Practical Applications of the ISA 95 standard https://web-material3.yokogawa.com/2/11821/tabs/document_11744.pdf 2012
16. Довідкова система MOM Momentum Operations.
17. Пупена О.М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI.: Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.
18. OPC UA Fundamentals. [Електронний ресурс]. Доступно: https://documentation.unified-automation.com/uasdkhp/1.1.1/html/_11_opc_ua_fundamentals.html
19. <https://tk185.appau.org.ua/guide/aCampus-users-guides-IEC61512+++pdf>
20. Автоматизовані системи керування та їх інтеграція – Ключові показники ефективності (КПЕ) для керування виробничими операціями. Посібник <https://tk185.appau.org.ua/guide/aCampus-users-guides-ISO22400+++pdf>