

© М.Г. Притула

канд. фіз.-мат. наук
Інститут транспорту газу
ПАТ «Укртрансгаз»

О.М. Химко

канд. техн. наук
Національний університет
«Львівська політехніка»

В.Ф. Чекурін

д-р фіз.-мат. наук
Інститут прикладних проблем
механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАН України

Методологія побудови комп'ютеризованих систем управління виробничими підприємствами з використанням MES

УДК 681.518

У статті розглянуто методологію побудови комп'ютеризованих систем автоматизації управління виробничими підприємствами з використанням MES. Одним із основних завдань MES як системи оперативного управління є підтримка інформаційних потоків між управлінням стратегічного рівня (бізнес-планування та логістика) та безпосереднім управлінням виробничими процесами. Цю методологію представлено у стандарті ANSI/ISA-95, який базується на п'ятирівневій моделі PERA управління виробничим підприємством та моделі інформаційних потоків у системі управління. На основі проведеного аналізу зазначених стандарту та моделей розглянуто можливість застосування концепції MES для автоматизації управління газотранспортними системами.

Ключові слова: системи управління, стандарти, газотранспортна система, автоматизація.

В статье рассмотрена методология построения компьютеризованных систем автоматизации управления производственными предприятиями с использованием MES. Одной из главных задач MES как системы оперативного управления является поддержка информационных потоков между управлением стратегического уровня (бизнес-планирование и логистика) и непосредственным управлением производственными процессами. Эту методологию представляет стандарт ANSI/ISA-95, во многом базирующийся на пятиуровневой модели PERA управления производственным предприятием и модели информационных потоков в системе управления. На основе проведенного анализа указанных стандарта и моделей рассмотрены возможности применения концепции MES для автоматизации управления газотранспортными системами.

Ключевые слова: системы управления, стандарты, газотранспортная система, автоматизация.

The methodology for building of computer-aided system for automation of manufacturing enterprise management with the use of MES has been considered in the paper. One of the main tasks of MES is to maintain information flows between the strategic level management (business planning and logistics) and the direct process control. This methodology is presented in the ANSI/ISA-95 standard which is based on the five-level PERA model for manufacturing enterprise management and the model of control system information flows. Based on the analysis of the mentioned standard and model carried out, applicability of MES concept for automation of the gas transmission systems control has been considered.

Key words: control systems, standards, gas transmission system, automation.

Газотранспортна система (ГТС) – це складний комплекс магістральних газопроводів і підземних сховищ газу (ПСГ), оснащених компресорними станціями (КС) та іншим технологічним обладнанням [1]. Складові частини ГТС у сукупності утворюють цілісний інженерний об'єкт, функціонування якого визначають різноманітні за своєю природою процеси – фізичні, технологічні, інформаційні та комерційні. Щоб ефективно керувати роботою цієї системи, необхідна автоматизація як технологічних процесів, так і процесів управління виробничо-комерційною діяльністю підприємства.

Останнім часом нового розвитку набули теорія і практика систем оперативного управління виробництвом – англ. Manufacturing Execution Systems (MES). Можливості застосування MES у газотранспортних

системах (ГТС) ось уже декілька років привертають пильну увагу науковців, експлуатаційників і управлінців цієї галузі [2].

Розглянемо концептуальні засади, методологію побудови та принципи функціонування систем оперативного управління виробництвом.

Стандарти управління виробничо-комерційними системами

MES – це спеціалізована прикладна програмна система, призначена для комп'ютеризації управління виробництвом. Призначення MES – підвищення ефективності виробництва шляхом надання інформаційної та інтелектуальної підтримки суб'єктам виробничого процесу, відстеження та документування їх

активності, встановлення зв'язків апарату управління корпоративного рівня з безпосереднім виробництвом тощо [3–5]. Одна із функцій MES – трансляція технологічної інформації на адміністративний рівень та передавання інформації у зворотному напрямку з корпоративного рівня на оперативний і звітний – в розподілену систему підприємств, підрозділів, технологічних об'єктів. MES реалізує ці функції, забезпечуючи взаємодію таких прикладних програмних систем бізнес-логістики і планування, як ERP (англ. Enterprise Resource Planning), з такими системами автоматизації технологічних процесів PAS (англ. Process Automation Systems), як SCADA чи batch-рішення.

Стандарт ANSI/ISA-95

Стандарт ANSI/ISA-95 пропонує підхід до побудови MES. Його метою є інтеграція верхніх рівнів управління з безпосереднім виробництвом продукту [6]. Стандарт складається із декількох частин.

Частина перша (ANSI/ISA-95.00.01-2000 – Models and Terminology) вводить концептуальні основи, термінологію та моделі для інтеграції верхніх ланок управління підприємством із системами контролю технологічних процесів. Друга частина (ANSI/ISA-95.00.03-2005 – Object Model Attributes) містить додаткові деталі і приклади, які ілюструють і уточнюють першу частину. Ці дві частини разом із частиною п'ятою (ISA-95.05-2007 – Business to Manufacturing Transactions) визначають обмін інформацією між бізнес-процесами та виробництвом.

Частини третя (Models of Manufacturing Operations Management) і четверта (Object models and attributes for Manufacturing Operations Management), яка зараз є у стадії розроблення, визначають типові функції оперативного управління виробництвом, які можна реалізувати з використанням MES. Ці 3 і 4 частини доповнюють 1, 2 та 5, вводячи моделі, необхідні для обміну даними, які потрібні для управління експлуатацією обладнання, якістю продукції та запасами матеріалів, комплектуючих і готової продукції: ієрархічні моделі функцій планування управління виробництвом, ієрархічні моделі технологічного обладнання, моделі функцій виробництва, моделі інформаційних потоків, об'єктні моделі, що визначають об'єкти, їх атрибути та відношення між ними, моделі операцій, які визначають операційні елементи, їх функції та інформаційні потоки між ними.

Ці моделі окреслюють межі між MES і системами PAS (знизу) та ERP (зверху) та визначають функції ERP та MES і дані, якими ці прикладні програми обмінюються між собою та PAS.

Стандарт ANSI/ISA 88

Стандарт ANSI/ISA-88 визначає взаємодію PAS та MES [7, 8]. Він є попередником ANSI/ISA-95, тому в стандарті ANSI/ISA-95 враховано його концептуальні засади. Метою створення ANSI/ISA-88 було усунення проблем, що виникають на шляху автоматизації технологічних процесів періодичного (рецептурного) виробництва, – складності управління таким виробництвом, відсутності єдиної його моделі, несумісності обладнання і програмного забезпечення засобів автоматизації різних постачальників тощо.

Стандарт ANSI/ISA-88 Batch Control дав можливість усунути ці проблеми шляхом введення єдиних термінології, моделей, структур даних та мови опису технологічних процесів рецептурних виробництв. Стандарт є універсальний – його застосовування не залежить ні від ступеня автоматизації виробництва, ні від типу обладнання, яке використовують. Він надає необхідний інструментарій (набір шаблонів) для проектування архітектури систем автоматизації періодичних виробництв, так званих batch systems – batch-систем, як для простих, так і складних виробничих систем.

Стандарт базується на концепції, за якою визначення продукту (рецептура) є відокремлена від конкретних особливостей технологічного обладнання. Це дає можливість проектувати гнучкі системи автоматизації технологічних процесів. Хоча стандарт було розроблено спеціально для періодичних виробництв, декларується можливість його застосування для дискретних й неперервних виробництв [8].

Стандарт ANSI/ISA-88 складається із чотирьох частин [7].

Частина перша – ANSI/ISA 88.01-1995, Batch Control Part 1: Models and Terminology – визначає стандартні моделі і термінологію для формалізації вимог до систем контролю періодичним виробництвом.

Частина друга – ANSI/ISA 88.00.02_2001, Batch Control Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages – визначає моделі даних для керування технологічними процесами, структури даних для обміну інформацією, а також формати запису рецептур.

Частина третя – ANSI/ISA 88.00.03_2003, Batch Control Part 3 General and Site Recipe Models and Representation визначає моделі для представлення узагальнених рецептур і обміну ними між підрозділами підприємства, а також підприємством і його партнерами.

Частина четверта – ANSI/ISA 88.00.04_2006, Batch Control Part 4: Batch Production Records визначає моделі даних і модель системи для відбору, запису, збереження і аналізу даних про хід виробництва.

Програмно-технічні системи для автоматизації технологічних процесів періодичних виробництв, що

створені за стандартом ANSI/ISA-88 (batch-системи), прийшли на зміну розподіленим системам керування (Distributed Control System – DCS) та /SCADA-системам, які використовують програмовані логічні контролери (PLC).

Стандарти ANSI/ISA 88, ANSI/ISA 95 та XML

XML (англ. eXtensible Markup Language) – уведена Консорціумом WWW мова розмітки, що визначає правила кодування документів у форматі, який забезпечує їх машинну обробку (machine-readable), зберігаючи їх читабельними для людей (human-readable).

Щоб розширити можливості стандарту, міжнародна організація World Bench Forum (WBF) ініціювала створення засобів для реалізації стандартів ANSI/ISA-88 та ANSI/ISA-95 у форматі XML. Результатом цього стало створення наборів схем XML під назвою BatchML (Batch Markup Language), що реалізує стандарт ANSI/ISA-88 [11], та B2MML (Business to Manufacturing Markup Language), що реалізує стандарт ANSI/ISA 95 [10].

BatchML визначає XML-елементи (Batch lists, Enumeration sets, Master Recipes, Control Recipes, Recipe building blocks, Equipment elements), необхідні для формалізованого опису партії продукту (англ. batch), процесу його виготовлення – рецептури (англ. recipe), інформації про обладнання (англ. equipment).

B2MML визначає такі XML-схеми: B2MML-Common (загальні), B2MML-Personnel (персонал), B2MML-Equipment (обладнання), B2MML-Maintenance (технічне обслуговування та ремонт), B2MML-Material (матеріали), B2MML-ProcessCapability (процесні можливості), B2MML-ProcessSegment, B2MML-ProductDefinitions (визначення продукту), B2MML-ProductionSchedule (графік виробництва), B2MML-ProductionPerformance (продуктивність виробництва).

Розроблені XML-схеми забезпечують можливості реалізації стандартів із використанням технологій www.

Модель функціональної ієрархії виробничих підприємств

Стандарт ANSI/ISA-95 базується на п'ятирівневій моделі функціональної ієрархії виробничої структури, в основі якої лежить модель виробничого підприємства PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture), створена в університеті Пердью [11]. Цю модель схематично показано на рис. 1.

Функції рівнів моделі

Нульовий рівень моделі визначає технологічні процеси. Технологічний процес формується певною

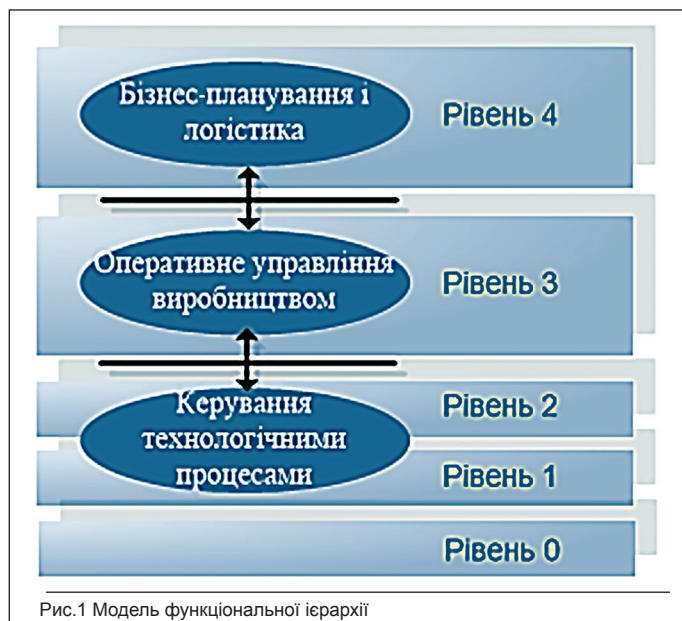


Рис.1 Модель функціональної ієрархії

сукупністю фізичних (хімічних, біологічних) процесів, які реалізують у заданій послідовності. Унаслідок цього відбувається перетворення матеріалів, комплектуючих, енергії, зусиль та інтелекту людей на кінцевий продукт. Реалізація технологічних процесів відбувається з використанням технологічного обладнання. Режими функціонування обладнання, а отже, і параметри фізичних процесів, можна змінювати в певних межах, регулюючи у такий спосіб параметри технологічних процесів, а значить – і характеристики кінцевого продукту.

Перший рівень моделі відповідає за безпосереднє керування фізичними процесами та первинний контроль їх параметрів. Тут використовують виконавчі пристрої (актуатори) та первинні перетворювачі фізичних величин (сенсори).

Виконавчі пристрої, реагуючи на вхідні сигнали, що надходять із другого рівня, визначають режими роботи технологічного обладнання, які забезпечують параметри фізичних процесів, необхідні для реалізації визначених технологічних процесів.

Первинні перетворювачі (сенсори), які діють на цьому рівні, подають свої вихідні сигнали на другий рівень функціональної ієрархії. Ці сигнали містять об'єктивні дані про параметри фізичних процесів, характеристики продукту, який виготовляється, стан та режими роботи технологічного обладнання і параметри стану доквілля. Процеси першого рівня протікають у реальному часі фізичних процесів, тобто їхні параметри змінюються на часових періодах порядку секунд і менших.

Другий рівень відповідає за контроль і моніторинг параметрів фізичних процесів нульового рівня, ре-

жимів роботи та стану технологічного обладнання, характеристик продукту, стану довкілля тощо. Для цього він використовує сигнали, які надходять із першого сенсорного рівня. Апаратура і програмне забезпечення другого рівня виробляє сигнали керування технологічним обладнанням відповідно до команд оперативного управління, які надходять із третього рівня. Ці сигнали керують виконавчими пристроями першого рівня, які, у свою чергу, повертають сигнали зворотного зв'язку на другий рівень. Процеси другого рівня характеризуються часовими проміжками порядку годин, хвилин, секунд і меншими.

Третій рівень функціональної ієрархії відповідає оперативному управлінню виробничим підприємством (англ. Manufacturing Operations Management – MOM). Тривалість процесів третього рівня визначається днями, робочими змінами, годинами, хвилинами і секундами. Цей рівень є проміжним між нижніми рівнями (першим та другим) та четвертим – рівнем бізнес-планування та логістики.

На цьому рівні формуються алгоритми керування технологічним обладнанням, параметрами технологічних процесів, виробничим персоналом, матеріальними ресурсами, енергією та готовою продукцією.

Четвертий рівень функціональної ієрархії (рівень бізнес-логістики та планування) охоплює управління комерційними процесами, які визначають виробничу діяльність усього підприємства. Менеджмент корпоративного рівня має на меті перспективне (стратегічне) і короткотермінове (тактичне) планування виробництва, постачання, збуту, управління модернізацією та розвитком виробництва тощо. Процеси четвертого рівня діють на часових відрізках тривалістю місяці, тижні, дні.

Обмін даними між рівнями

Однією із основних функцій MES як програмно-технічної системи є автоматизація передавання інформації між рівнями 2 та 4. Комітет ISA SP95, що розробив стандарт ISA/ANSI-95, власне, і ставив собі за мету зниження ризиків, коштів і зусиль, пов'язаних із запровадженням інформаційного інтерфейсу між менеджментом на рівні бізнес-процесів, MOM та керуванням технологічними процесами. Розв'язання цього завдання забезпечило можливість прямої взаємодії програмно-технічних систем корпоративного рівня, наприклад ERP-систем (англ. Enterprise Resource Planning), із системами рівня MOM, наприклад MES, та PAS-системами, наприклад спеціалізованими batch-рішеннями.

Потрібно підкреслити, що на рівнях виробництва (рівні 1 та 2 моделі функціональної ієрархії) та бізнес-процесів (рівень 4) циркулює істотно відмінна ін-

формація як за своїми природою й походженням, так і за часовими параметрами й формами представлення. Тож однією із головних функцій рівня оперативного управління підприємством є організація передачі інформації між рівнями виробництва і бізнесу.

Третій та четвертий рівні обмінюються між собою інформацією про виробничі потужності (англ. operations capabilities), визначення операцій (англ. operations definition), оперативні плани (англ. operations scheduling), продуктивність виробництва (англ. operations performance).

На вхід до третього рівня із четвертого надходить план виробництва, сформований на верхньому рівні управління. На основі отриманого плану на рівні MOM формуються оперативні плани виробництва, визначаються технологічні схеми та режими, необхідні для реалізації плану виробництва, формуються параметри налаштування технологічного обладнання і вибираються алгоритми керування параметрами фізичних процесів, формуються алгоритми керування обладнанням із метою формування необхідних параметрів реалізації технологічних процесів і передаються команди управління на другий рівень.

Із третього рівня на другий надходить інформація про конфігурацію обладнання та технологічні схеми, які забезпечують виробництво продукту згідно із його визначенням, та команди оперативного керування обладнанням і параметрами процесів. Із другого на третій рівень у відповідь на команди оперативного керування надходять дані зворотного зв'язку, а також дані про стан обладнання та параметри технологічних процесів.

Модель активності на рівні MOM

Стандарт ANSI/ISA-95 виділяє з MOM чотири напрями: 1) оперативне управління процесами виробництва (англ. production operations management); 2) оперативне управління процесами технічного обслуговування та ремонту обладнання (англ. maintenance operations management); 3) оперативне управління якістю (англ. quality operations management); 4) оперативне управління запасами (англ. inventory operations management).

Управління у межах кожної зони включає певні послідовності дій (активностей). Активності оперативного управління виробництвом визначає модель c-MES (англ. Collaborative MES), введена міжнародною асоціацією MESA у 2004 році [12]. На рис. 2 показано модель активності для оперативного управління виробництвом, яка визначає функції MES.

За цією моделлю MES-системи діють у восьми функціональних областях, надаючи підтримку в: управлінні визначенням продукту (англ. Management of product definitions);

управлінні ресурсами (англ. Management of resources);

плануванні виробничого процесу (англ. Scheduling production processes);

диспетчеризації виробництва (англ. Dispatching production orders);

здійсненні контролю за ходом виробництва (англ. Execution of production orders);

відборі та нагромадженні виробничих даних (англ. Collection of production data);

аналізі продуктивності виробництва (англ. Production performance analysis);

відстеженні продукції (англ. Production Track & Trace).

Під визначенням продукту розуміють детальний опис послідовності дій (правил виробництва – англ. production rules), виконання яких дає змогу отримати продукт. Менеджмент визначенням продукту можна розглядати як частину управління його циклом життя.

Управління ресурсами включає збір та нагромадження, аналіз та обмін інформації про ресурси (персонал, технологічне обладнання, матеріали, готова продукція) та вироблення команд управління ними. Ця функція забезпечує контроль ресурсів у реальному часі і збереження детальної історії їх руху в процесі виробництва.

Планування процесу виробництва полягає у визначенні послідовності робіт (часового графіка) відповідно до вимог виробництва, сформованих на четвертому рівні. Зазвичай для формування цих вимог використовують такі системи планування ресурсів підприємства, як ERP (англ. Enterprise resource planning).

Диспетчеризація передбачає керування потоками завдань, замовлень, нарядів, команд тощо в реальному часі. Їх метою є чітке дотримання графіка робіт, реагування на непередбачувані обставини, контроль затрат праці тощо.

Оскільки основні функції керування і контролю технологічних процесів реалізуються на другому рівні, на якому діють системи класу PAS, то роль систем с-MES у цій функціональній області може зводитися до інформування інших систем про хід процесу виробництва продукції.

Активність у шостій функціональній області (Collection of production data) полягає у зборі, нагромадженні та розповсюдженні даних моніторингу ходу технологічних процесів, параметрів фізичних процесів, стану обладнання, матеріальних ресурсів тощо.

У ході аналізу продуктивності виробництва (сьома функціональна область) формуються такі індикатори продуктивності, як загальна продуктивність обладнання OEE (англ. Overall equipment effectiveness) [13], KPI

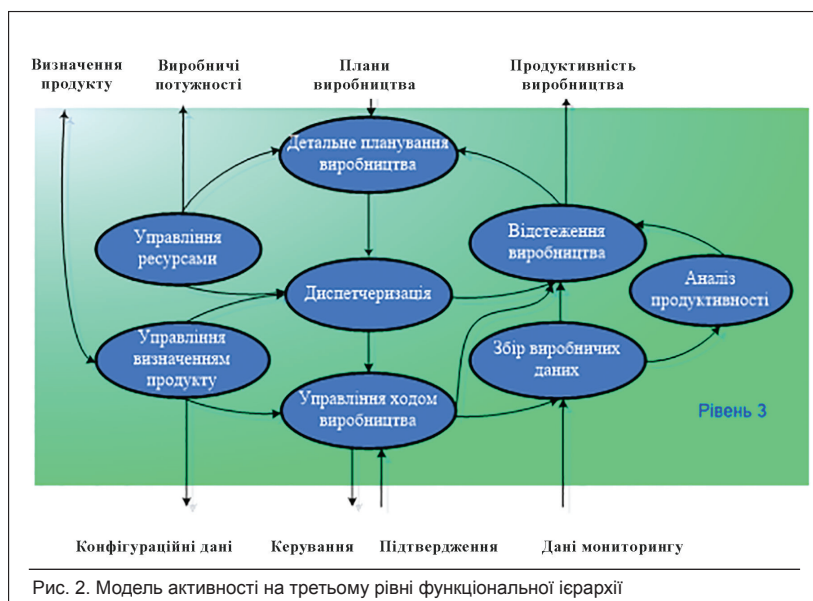


Рис. 2. Модель активності на третьому рівні функціональної ієрархії

(англ. Key Performance Indicator) [14] чи інші показники.

Подібні моделі активності можна розглядати і для інших напрямів діяльності на рівні MOM – управління якістю, технічним обслуговуванням та запасами.

Концепція комплексної автоматизації управління виробничим підприємством

Стандарти ANSI/ISA 95 та ANSI/ISA 88, разом із їх XML-розширеннями – B2MML та BatchML, формують концептуальну основу, в рамках якої, застосовуючи сучасні комп'ютерні та інформаційно-комунікаційні технології, можна вирішувати проблему автоматизації управління ГТС комплексно. Цей підхід, відомий як TIA (англ. Totally Integrated Automation) [17], означає, що задачі автоматизації різних рівнів управління, починаючи від окремих технологічних агрегатів, дільниць та цехів і закінчуючи органами управління корпорацією, розглядаються як взаємопов'язані. Виходячи із цього, система автоматизації підприємства (корпорації) розглядається як цілісний програмно-технічний комплекс, який забезпечує автоматизацію функцій управління по всій вертикалі – від рівня керування технологічними процесами аж до управління бізнес-процесами. Завдяки цьому природним чином досягається неперервність інформаційних потоків у обох напрямках цієї вертикалі, а також по горизонталях управління на кожному рівні. За такого підходу інформація передається у цифровій формі й автоматично перетворюється під час переходу з одного рівня управління на інший відповідно до потреб користувачів цього рівня.

Подібний підхід розвиває, зокрема, фірма SIEMENS [17]. Програмний продукт SIMATIC IT, який вона пропонує, дає змогу реалізувати концепцію TIA згідно зі стандартом ISA-95.

Висновки

Міжнародний стандарт ANSI/ISA 95 надає концептуальну основу для автоматизації оперативного управління виробничою діяльністю підприємств. Він використовує понятійний апарат, моделі та структури даних, запроваджені стандартом ANSI/ISA 88, який, за задумом його авторів, був створений для періодичних (рецептурних) виробництв. Застосування цих двох стандартів дає можливість вибудувати парадигму ТІА комплексної автоматизації виробничого підприємства (корпорації). За цим підходом проблему автоматизації управління виробничим підприємством варто розглядати як сукупність взаємопов'язаних задач автоматизації управлінських процесів на усіх рівнях управління – від автоматизованого контролю фізичних і технологічних процесів аж до управління бізнес-процесами і бізнес-плануванням.

ГТС є специфічним класом виробничих систем. Її основний виробничий процес – це транспортування при-

родного газу від місць видобування до місць зберігання та споживачів. Тож існуючу методологію MES неможливо формально перенести, користуючись досвідом та практикою її застосування, до класичних виробничих систем дискретного, серійного чи неперервного циклів. Тому, щоб ефективно застосовувати MES у газотранспортній системі, необхідно зіставити структуру, визначальні процеси та функції управління ГТС з моделями, які використовували під час розроблення стандартів MES, і, за потреби, внести відповідні зміни до парадигми MES. Це потребує детального аналізу усіх процесів, які визначають функціонування ГТС, формалізації структури виробництва та управління, внутрішніх і зовнішніх матеріальних і фінансових потоків, інтелектуального потенціалу. Такий аналіз можна здійснювати в рамках моделей, які з різних боків відображають структуру виробничої системи, функції, які вона реалізує, та процеси, що в ній протікають.

Список використаних джерел

1. **The Interstate** Natural Gas Transmission System: Scale, Physical Complexity and Business Model. Executive Summary / INGAA Foundation Reports. Pipeline Knowledge & Development [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ingaa.org/?ID=10724>.
2. **Решетников И.С.** Автоматизация производственной деятельности газотранспортной компании / И.С. Решетников. – М.: НГСС, 2011. – 116 с.
3. **Bernus P.** A framework to define a generic enterprise reference architecture and methodology / Bernus P., Nemes L. // Computer Integrated Manufacturing Systems. – 1996. – Vol. 9 (3). – P. 179–191.
4. **Manufacturing** Execution Systems (MES) Industry specific Requirements and Solutions. – Frankfurt: ZVEI, 2011. – 86 p.
5. **Шопин А.Г.** MIS и EMI: информационные системы уровня MES / А.Г. Шопин, И.В. Занин, А.В. Бурдин // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 9. – С. 29–34.
6. **MESA International.** Resource Library [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://services.mesa.org/ResourceLibrary/>.
7. **ISA-88:** the international standard for flexibility in production [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.isa-88.com/index.php>.
8. **Linden D.** How to apply ANSI/ISA-88 or IEC-61512 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.auto.tuwien.ac.at/LVA/DA10/ISA88_Notes.pdf.
9. **Batch** Markup Language (BatchML) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.isa.org/Content/NavigationMenu/General_Information/Partners_and_Affiliates/WBF/Working_Groups2/XML_Working_Group/BatchML/BatchML.htm.
10. **Business** To Manufacturing Markup Language (B2MML) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.isa.org/Content/NavigationMenu/General_Information/Partners_and_Affiliates/WBF/Working_Groups2/XML_Working_Group/B2MML/B2MML.htm.
11. **Williams T.J.** The Purdue enterprise reference architecture // Computers in industry. – 1994. – Vol. 24 (2). – P. 141–158.
12. **MESA International.** MESA Model [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mesa.org/en/modelstrategicinitiatives/MESAModel.asp>.
13. **Wauters F.** and Mathot J. OEE. Overall Equipment Effectiveness [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/4581d5d1ce980419c1256bfb006399b9/\\$file/3bus094188r0001.pdf_-_en_oeo_whitepaper_-_overall_equipment_effectiveness.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/4581d5d1ce980419c1256bfb006399b9/$file/3bus094188r0001.pdf_-_en_oeo_whitepaper_-_overall_equipment_effectiveness.pdf).
14. **David** Parmenter. Key Performance Indicators. John Wiley & Sons, 2007. – 236 p.
15. **OPS** Technical Overview. OPS Fondation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pacontrol.com/download/OPC-overview.pdf>.
16. **MSDN.** Tutorial 1: Enterprise Application Integration [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa578030.aspx>.
17. **SIMATIC IT** – для построения MES систем. От планирования к производству, информация по продукту. Siemens [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.siemens.com/simatic_it.