

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.146574

РОЗРОБЛЕННЯ ПІДХОДУ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОЮ СИСТЕМОЮ

Чекурін В. Ф., Пономарьов Ю. В., Притула М. Г., Химко О. Я.

1. Вступ

Газотранспортна система (ГТС) – це комплекс взаємозв’язаних магістральних газопроводів (МГ) і підземних сховищ газу (ПСГ), оснащених компресорними станціями, запірною-регулюючою арматурою, іншими технологічними елементами. Складові частини ГТС у сукупності утворюють цілісний інженерний об’єкт. Ефективна й безпечна експлуатація цієї системи можлива лише за автоматизації із застосуванням математичного моделювання та комп’ютеризації усіх процесів, які визначають її функціонування. Сучасний стан автоматизації управління ГТС України сформувався за останні десятиліття в результаті розрізненої модернізації окремих об’єктів газотранспортної інфраструктури, окремих технологічних процесів та напрямків управління. Автоматизацію технологічних процесів і комп’ютеризацію управління ГТС на оперативному та стратегічному рівнях проводили без належної координації дій і прагнення забезпечити інформаційну сумісність засобів автоматизації різних рівнів управління. Одним із наслідків цього є відсутність повного автоматизованого обміну даними на вертикалі «керування технологічними процесами – стратегічне управління».

Тому актуальним є розроблення підходу до автоматизації управління ГТС на оперативному і стратегічному рівнях із забезпеченням автоматизованого обміну інформацією на усій вертикалі «керування технологічними процесами – стратегічне управління».

2. Об’єкт дослідження і його технологічний аудит

Об’єктом дослідження є система управління ГТС України, яка охоплює п’ять напрямків управління: інформаційні процеси, бізнес-процеси, транспортування газу, підземне зберігання газу та експлуатація інженерної інфраструктури.

ГТС – це логістична система, до складу якої віднесемо інженерно-виробничий комплекс (ІВК), організаційну структуру, виробничий персонал, матеріальні та фінансові ресурси. Бізнес-процеси, які протікають в цій системі, створюють додаткову вартість і є визначальними для її функціонування як економічної системи. Результатом дії бізнес-процесів є потоки замовлень, виконання яких відбувається із використанням ІВК, виробничих і технологічних процесів.

ІВК ГТС – це об’єкт матеріального світу, який розглядаємо як відкриту термодинамічну систему, що складається із двох основних підсистем – споруд ГТС та акумульованого в них газу. Споруди – це складові ГТС, заповнені газом магістральні трубопроводи (МГ), компресорні станції (КС), пласти підземних

сховищ газу (ПСГ) та інші технологічні елементи. Взаємодія цих двох підсистем між собою та із довкіллям відбувається шляхом обміну між ними масою, імпульсом та енергією. Через входи і виходи газова підсистема ГТС обмінюється із зовнішнім середовищем масою, імпульсом і енергією.

Реалізація технологічних процесів супроводжується фізичними процесами, які протікають у газі ГТС, в спорудах ГТС та довкіллі. Таким чином, ГТС як фізичний об'єкт являє собою нелінійну керовану динамічну систему з розподіленими параметрами, для якої характерні значні розміри та інерційність, дія розподілених і зосереджених керуючих впливів, значна невизначеність значень внутрішніх параметрів і зовнішніх чинників. Визначальними для функціонування ГТС як фізичної системи є процеси перенесення маси, імпульсу та енергії газовими сумішами, силова та теплова взаємодія газу ГТС зі спорудами ГТС. А також обмін масою, імпульсом і енергією з довкіллям, процеси деформування, старіння та руйнування споруд тощо.

Інформаційні процеси відповідальні за відбір та нагромадження даних про:

- параметри фізичних процесів, які протікають у газі ГТС;
- спорудах ГТС та довкіллі;
- параметри технологічних процесів;
- стан технологічного устаткування;
- матеріальні і фінансові ресурси та економічну ефективності роботи ГТС;
- стан та тенденції розвитку виробничого та інтелектуального потенціалів.

Важливою функцією інформаційних процесів є підтримання інформаційних потоків між підсистемами ГТС і різними рівнями управління та суміжними газотранспортними системами.

Розглянемо стан автоматизації управління ГТС за різними напрямками.

Згідно із даними Департаменту автоматизації та зв'язку АТ «Укртрансгаз», тут функціонує корпоративна комп'ютерна мережа, яка налічує 100 вузлів по усій території України. За допомогою платформ Hyper-V та Oracle-VM в мережі реалізоване віртуальне обчислювальне середовище. В компанії встановлені контролер домену, служба каталогів та сервіс DNS, які забезпечують єдину автентифікацію й авторизацію користувачів та розділення прав їх доступу до каталогів та ресурсів, єдине сховище даних. Сервіси Microsoft System Configuration Manager та System Center Operation Manager забезпечують моніторинг стану всієї ІТ-інфраструктури, автоматичне оновлення програмного забезпечення, віддалене керування всіма робочими станціями та антивірусний захист. В АТ «Укртрансгаз» запроваджені корпоративні комунікаційні сервіси – система уніфікованих комунікацій MS Lync 2013 та єдина система корпоративної електронної пошти MS EXCHANGE 2013, а також система ІР-телефонії.

Створена єдина база даних оперативної диспетчерської інформації (ЄБДОДІ), яка функціонує під управлінням СУБД (система управління базами даних) ORACLE. До цієї бази надходять дані із систем автоматизації газорозподільних і

газовимірювальних станцій, а також систем SCADA автоматизації лінійної частини, КС і ПСГ.

До систем *автоматизації інформаційних процесів* слід віднести також централізовану службу підтримки користувачів ІТ, яка підтримує:

- єдине вікно реєстрації інцидентів ІТ;
- розподілення запитів відповідно до сфер відповідальності ІТ спеціалістів;
- облік виконання запитів на технічне обслуговування;
- цілодобові консультації користувачів.

До систем *автоматизації управління корпоративного рівня* можна віднести обліково-аналітичну систему газотранспортного підприємства, яка обробляє дані ЄБДОДІ, а також наявну в АТ «Укртрансгаз» систему відеоконференцій та селекторних нарад і систему електронного документообігу Megapolis.DocNet. Тут діє комплексна автоматизована система управління, створена на основі програмного забезпечення SAP ERP [1], яка реалізує фінансово-облікову політику.

На *оперативному рівні* використовують програмні комплекси, створені ТЗОВ «Математичний центр» (Львів, Україна) і відділом розробки систем оптимального планування та прогнозування режимів роботи ГТС Науково-дослідного інституту транспорту газу АТ «Укртрансгаз» (Харків, Україна) [2, 3].

На *рівні керування технологічними процесами* встановлені системи автоматизації лінійної частини, компресорних станцій та ПСГ. Для лінійної частини використовують системи телемеханіки, автоматики електрохімічного захисту та автоматики газорозподільних станцій. Для контролю параметрів газових потоків у МГ, шлейфово-колекторних системах і в свердловинах ПСГ використовують прилади вимірювання технологічних параметрів газу – тиску, температури. Останнім часом встановлюють накладні ультразвукові системи для вимірювання швидкості потоку в трубопроводах. Система автоматизації технологічних об'єктів складається з розрізнених систем контролю компресорних станцій лінійної частини і ПСГ, створених на елементній базі ClearSCADA фірми Schneider Electric (Франція), SCX фірми Serck Controls Ltd (Австралія), InTouch фірми Wonderware (США) тощо. Однак повна автоматизація технологічних процесів в АТ «Укртрансгаз» відсутня. Наявні засоби автоматизації технологічних об'єктів є різнорідними за їхніми системно-технічними рішеннями й часто інформаційно несумісними.

Загалом слід констатувати, що ефективність системи управління ГТС істотно стримується інформаційною гетерогенністю наявних засобів автоматизації та відсутністю автоматизованого обміну даними на вертикалі «керування технологічними процесами – стратегічне управління».

3. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є розроблення концепції поетапної модернізації ГТС України на основі методології, яку надає стандарт ANSI/ISA-95 [4, 5], шляхом створення

комп'ютеризованої системи управління рівня MOM (Manufacturing Operations Management) як MES системи (Manufacturing Execution Systems) [6, 7].

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Провести аналіз існуючих підходів до автоматизації управління ГТС.
2. Розробити логістичну модель ГТС.
3. Адаптувати парадигму MES як концептуальну основу для створення системи автоматизації MOM ГТС до розробленої моделі логістики.
4. Визначити, згідно із конкретизованою парадигмою MES, інформацію, якою система MOM ГТС обмінюється із системами сусідніх із нею рівнів.
5. Визначити, згідно із конкретизованою парадигмою MES, функції та зміст процесів, які діють на рівні оперативного управління згідно із моделлю активності, визначеною стандартом.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

На ринку програмно-технічних систем для автоматизації управління виробничими підприємствами є досить багато пропозицій. Деякі з них збудовані згідно стандарту ANSI/ISA-95.

Для *автоматизації технологічних процесів* використовують інтелектуальні системи, призначені для оброблення даних, які надходять зі сенсорів, а також для вироблення сигналів управління виконавчими пристроями. Це – програмовані логічні контролери PLC, розподілені системи автоматичного керування (Distributed Control Systems), SCADA системи (Supervisory Control and Data Acquisition) [8] та batch-системи [9].

Компанія Emerson Process Management (США) є постачальником SCADA-рішень для систем транспортування і розподілу газу, а також програмного забезпечення, віддалених терміналів та комп'ютерних вимірювачів потоків газу [10]. Компанія OSI Soft (США) є розробником і постачальником PI System – програмної системи для управління даними реального часу і подіями [11].

На рівні *оперативного управління* використовують системи автоматизації, які забезпечують підтримку чотирьох напрямків – управління виробництвом, технічним обслуговуванням, якістю та запасами. Крім MES, до них належать:

- лабораторні інформаційно-керуючі системи LIMS (Laboratory Information Management System) [12];
- системи управління складами WMS (Warehouse Management Systems) [13];
- та комп'ютеризовані системи управління технічним обслуговуванням (Computerized Maintenance Management Systems) [14].

До систем цього рівня можна віднести комплекс PSI GMS фірми PSI (Німеччина) [15]. Це – модульна система прикладних програм для автоматизованого контролю, моніторингу, аналізу та менеджменту в газотранспортній галузі. Розробки SIMONE фірми «Simone Research Group» (Чехія) [16] призначені для моделювання процесів в газотранспортних мережах, управління і диспетчеризації цих мереж.

Слід зазначити, що в згаданих системах автоматизації оперативного управління зазвичай використовують занадто спрощені моделі технологічних процесів. В них не враховані деякі специфічні особливості ГТС України, тому їх впровадження вимагає істотної адаптації, доопрацювання програмного забезпечення, заміни систем автоматизації технологічних процесів. Все вимагає значних витрат, які економічно невиправдані.

Диспетчерські служби та підрозділи департаменту підземного зберігання газу АТ «Укртрансгаз» використовують для автоматизації оперативного управління систему моделювання, планування, оптимізації та формування параметрів керування газовими потоками (МПОК МГ «МЦ») та систему моделювання, планування, оптимізації та керування роботою ПСГ (МПОК ПСГ «МЦ») – розробки ТЗОВ «Математичний центр» і відділу систем оптимального планування та прогнозування режимів роботи ГТС Науково-дослідного інституту транспортування газу АТ «Укртрансгаз» [3–5].

Для автоматизації управління на *стратегічному рівні* також використовують:

- системи управління циклом життя виробу PLM (Product Lifecycle Management) [17];
- системи планування ресурсів підприємства ERP (Enterprise Resource Planning) [2];
- системи взаємодії з клієнтами CRM (Customer Relationship Management) [18];
- системи управління персоналом HRM (Human Resource Management).

Корпорація SAP AG (Німеччина) [19] розробляє ESA-рішення (Enterprise Software Application) – програмне забезпечення для підприємств, призначене для управління бізнес-процесами і взаємодією з клієнтами.

Стандарт ANSI/ISA-95 утворює концептуальну основу, в рамках якої, застосовуючи сучасні комп'ютерні та інформаційно-комунікаційні-технології, можна вирішувати проблему автоматизації управління ГТС комплексно. За цим підходом, відомим як TIA (Totally Integrated Automation) [20], системи автоматизації різних рівнів управління, від PAS до ERP, слід було б створювати з «нуля». Завдяки цьому можна було б природним чином досягнути неперервності інформаційних потоків у обох напрямках цієї вертикалі, а також на горизонталях управління кожного рівня.

Проте, застосування комплексного підходу до автоматизації ГТС України, що було б радикальним вирішенням проблеми, вимагає не тільки докорінної модернізації усієї газотранспортної інфраструктури, але й запровадження цілком інших технологій менеджменту. Реалізація такого завдання на сучасному етапі вимагає занадто великих інвестицій як в розвиток інфраструктури, так в кадровий потенціал. Тому модернізацію управління ГТС доцільно здійснювати поетапно зі збереженням вже існуючих засобів шляхом автоматизації оперативного управління виробничими процесами із використанням MES [21, 22].

5. Методи дослідження

Візьмемо за концептуальну основу автоматизації управління ГТС України стандарт ANSI/ISA-95 [4, 5] (відповідний міжнародний стандарт відомий як

ІЕС 61512). За цим стандартом слід розпочинати з автоматизації оперативного рівня і вертикальних інформаційних потоків. Це завдання стандарт пропонує вирішувати за допомогою MES як системи автоматизації MOM [6, 7]. Стандарт базується на моделі PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) функціональної ієрархії корпорації [23].

За цією моделлю управління логістичними системами розглядають як п'ятирівневу структуру. На нульовому рівні протікають фізичні процеси. Перший рівень моделі відповідає за безпосереднє керування фізичними процесами та первинний контроль їхніх параметрів. Тут діють виконавчі пристрої (актуатори) та первинні перетворювачі фізичних величин (сенсори). Другий рівень відповідає за контроль і моніторинг параметрів фізичних процесів нульового рівня, режимів 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, які надходять із третього рівня. Ці сигнали керують виконавчими пристроями першого рівня.

Третій рівень функціональної ієрархії забезпечує оперативне управління виробництвом. Він є проміжним між другим рівнем знизу та рівнем бізнес-планування та логістика зверху. Тут формують алгоритми керування технологічним обладнанням, параметрами технологічних процесів, виробничим персоналом, матеріальними ресурсами, енергією та готовою продукцією.

Четвертий рівень (бізнес-логістика та планування) охоплює управління комерційними процесами, які визначають виробничу діяльність усього підприємства. Він має на меті перспективне і короткотермінове планування виробництва, постачання та збут, управління модернізацією та розвитком виробництва тощо.

Одна із функцій MES – трансляція інформації з технологічного на адміністративний рівень та передавання інформації у зворотному напрямку з корпоративного рівня на оперативний рівень і трансляція її звідти в розподілену систему газотранспортних підприємств, підрозділів, технологічних об'єктів [8, 9]. MES реалізує ці функції, забезпечуючи взаємодію прикладних програмних систем бізнес логістики і планування, таких як ERP (Enterprise Resource Planning), з системами автоматизації технологічних процесів PAS (Process Automation Systems), таких як SCADA чи batch-рішення.

Стандарт визначає також моделі і типові функції MOM рівня, які реалізує MES. Моделі окреслюють межі між MES і PAS (знизу) та ERP (зверху) та визначають дані, якими ці прикладні програми обмінюються між собою, реалізуючи ці функції.

6. Результати досліджень

6.1. Логістика транспортування та зберігання газу

ГТС є специфічною логістичною системою. Вона створює додаткову вартість, реалізуючи два основні типи виробничих процесів – транспортування газу та зберігання газу.

Кожен такий процес виконується на замовлення певного клієнта, має чітко визначені часові рамки – початок та завершення (рис. 1) і, крім того, характеризується певним унікальним набором інших визначальних параметрів. Тож ГТС на рівні стратегічного управління можна розглядати як дискретне виробництво, продуктами якого є виконані замовлення з транспортування чи зберігання визначених мас (об'ємів) природного газу. Споживачем такого продукту є замовник відповідної послуги.

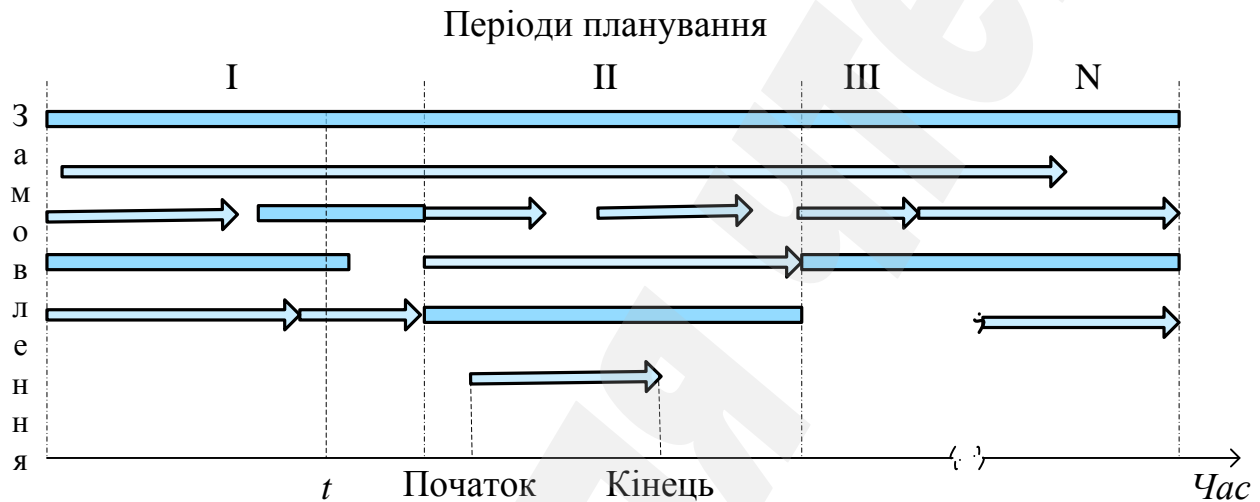


Рис. 1. Схема потоків замовлень: стрілки – замовлення на транспортування газу; прямокутники – замовлення на зберігання газу

Важливою особливістю роботи ГТС є те, що множини замовлень кожного типу утворюють неперервні потоки замовлень, так що у будь-який момент часу виконується деяка кількість замовлень на транспортування і зберігання. Як показано для прикладу на рис. 1, у момент часу t виконується два процеси типу «транспортування» і три типу «зберігання». Потік замовлень на транспортування утворює неперервний потік газу в МГ. Потік зовнішніх замовлень на зберігання може перериватися, але для збереження функціональності кожне ПСГ в будь-який момент часу має містити певну кількість газу (так званий буферний газ). Збереження буферного газу можна розглядати як внутрішнє замовлення ГТС, яке виконується впродовж усього циклу життя ПСГ.

Таким чином, на нульовому, першому та другому рівнях моделі PERA протікають неперервні фізичні, технологічні та інформаційні процеси. На третьому рівні реалізуються дискретні процеси – управління замовленнями, контроль їх реалізації та якості, а також неперервні процеси – управління технологічним персоналом, керування фізичними, технологічними та інформаційними процесами і моніторинг їхніх параметрів. На четвертому рівні, як уже зазначалося, діють дискретні процеси – планування замовлень, контроль їхнього виконання.

«Транспортування газу» є продукт ГТС, який, крім моментів початку та завершення, характеризується визначальними параметрами:

- сегменти мереж МГ і ПСГ, які задіяні у виконанні замовлення;
- перелік входів для відбору газу за замовленням, графіки відбору газу по кожному входу;
- показники якості газу на входах в періоди відбору за замовленням (наприклад, тиск, густина, температура, компонентний склад, вологість тощо);
- перелік виходів для постачання газу за замовленням;
- графіки постачання газу по кожному виходу, показники якості газу на виходах впродовж періодів постачання.

Названі параметри утворюють множину зовнішніх визначальних параметрів для продукту «транспортування газу». Крім них є ще й внутрішні параметри, які мають важливе значення для технології «виробництва продукту», оскільки впливають на його собівартість, але не мають значення для споживача. Для цього типу продукту виділимо три внутрішніх визначальних параметри:

- розподіл потоків газу в сегменті мережі МГ;
- ресурси ПСГ, які задіяні для виконання замовлення;
- графіки потужностей компресорних станцій цього сегменту, необхідні для його виконання.

«Зберігання газу» є продукт ГТС, який як і транспортування, характеризується часовими рамками – початком і кінцем. Щоб реалізувати цей продукт необхідно доставити газ із визначених пунктів відбору (входів ГТС) до ПСГ, закачати його в робочі пласти, зберігати впродовж визначених періодів, підняти його з підземних пластів та доставити до визначених пунктів відбору (виходів).

Зовнішніми визначальними параметрами цього продукту є сукупність множин визначальних параметрів для двох транспортних процесів, а також сегменти мереж МГ і ПСГ, задіяні для виконання цього замовлення.

Перший транспортний процес має визначальні параметри:

- множина входів для відбору газу за замовленням;
- графіки відбору газу із входів;
- показники якості газу на входах в періоди відбору;
- перелік ПСГ для закачування газу.

А другий:

- перелік ПСГ для відбору газу за замовленням;
- графіки відбору газу з ПСГ;
- множина виходів для постачання газу;
- графіки постачання газу по кожному виходу;
- показники якості по кожному виходу.

Для продукту «Зберігання газу» також розрізнятимемо зовнішні та внутрішні визначальні параметри. Зокрема, процеси, які відбуваються безпосередньо на ПСГ, віднесемо до внутрішніх, оскільки споживачу байдуже, в яких сховищах і як

зберігається його газ. Для нього важливо лише дотримання графіків відбору та постачання газу й забезпечення визначених показників його якості.

6.2. Модель активності на рівні оперативного управління ГТС

Управління на рівні MOM в межах кожної зони реалізують, застосовуючи цілком визначені процеси (активності). Модель c-MES (Collaborative MES), введена міжнародною асоціацією MESA у 2004 році, розглядає 8 основних процесів управління на оперативному рівні і визначає їхні основні завдання та взаємодію між ними, а також нижнім та верхнім рівнями управління [24].



Рис. 2. Модель активності на рівні оперативного управління

На рис. 3 показана схема взаємодії процесів оперативного управління ГТС згідно стандарту ANSI/ISA-95. Тут зображені також інформаційні потоки, якими MES обмінюється із нижнім (другим) та верхнім (четвертим) рівнями управління.

Як випливає з рис. 2, рівень MOM отримує із четвертого рівня плани замовлень на наступний період. Вони є вхідними даними для організації оперативного управління роботою ГТС і виконання завдань. На другий рівень управління з третього знаходять дані щодо конфігурації МГ, КС, ПСГ, режимів їхньої роботи, а також команди управління персоналом та керування обладнанням,

які забезпечують виконання замовлень цього періоду. З другого рівня на МОМ надходять підтвердження про отримання команд та їх виконання, а також дані моніторингу фізичних і технологічних процесів.

Розглянемо функції та основні завдання процесів третього рівня.

Детальне планування має на меті формування детальних графіків управління персоналом, керування конфігурацією обладнання МГ і ПСГ та режимами його експлуатації. Його основні завдання:

- визначати посадові обов'язки, графіки роботи персоналу, який функціонує в зоні відповідальності оперативного рівня;
- розробляти моделі поведінки персоналу в непередбачуваних ситуаціях;
- створювати графіки керування кранами, регулювальною та вимірювальною апаратурою МГ (керування конфігурацією МГ);
- створювати графіки керування кранами, регулювальною та вимірювальною апаратурою КС МГ (керування конфігураціями КС МГ);
- створювати графіки керування режимами роботи компресорів на усіх КС;
- створювати графіки керування конфігурацією комплексу робочих свердловин на ПСГ – керування кранами, регулювальною та вимірювальною апаратурою шлейфово-колекторних систем;
- створювати графіки керування режимами роботи КС ПСГ;
- розраховувати графіки вільних потужностей ГТС для кожного періоду;
- визначати «вузькі місця» для кожного замовлення і кожного періоду роботи.

Диспетчеризація передбачає керування технологічними маршрутами виконання замовлень шляхом формування команд управління персоналом у вигляді нарядів, завдань, розпоряджень та генерування сигналів керування технологічним обладнанням. Основні завдання:

- формувати команди управління персоналом, який діє в зонах відповідальності третього та другого рівнів, а також генерувати команди керування відповідним обладнанням:
 - ✓ конфігурацією МГ;
 - ✓ конфігураціями КС МГ;
 - ✓ режимами роботи компресорів на КС;
 - ✓ конфігурацією комплексу робочих свердловин на ПСГ;
 - ✓ режимами роботи КС ПСГ;
- контролювати виконання переданих команд управління персоналом та команд керування обладнанням;
- відстежувати відповідності реального споживання технологічними об'єктами паливного газу, електроенергії та розхідних матеріалів з відповідними нормативними показниками;
- формувати команди керування персоналом і сигнали керування обладнанням та передавати їх на виконання за виникнення ситуацій, що не передбачені детальним виробничим графіком;
- відпрацювати непередбачувані ситуації, загрозливі для виконання замовлень.

Виконавчий менеджмент – керування фізичними і технологічними процесами транспортування та зберігання газу. Основні завдання:

- передавати на другий рівень у реальному часі команди і сигнали керування конфігурацією МГ і контролювати їхнє проходження;
- передавати на другий рівень у реальному часі команди і сигнали керування конфігурацією КС МГ і контролювати їхнє проходження;
- передавати на другий рівень у реальному часі команди і сигнали керування режимами роботи КС МГ і контролювати їхнє проходження;
- передавати на другий рівень у реальному часі команди і сигнали керування кранами регулювальною та вимірювальною апаратурою шлейфово-колекторних систем ПСГ і контролювати їхнє проходження;
- передавати на другий рівень у реальному часі команди і сигнали керування режимами роботи ДКС ПСГ і контролювати їхнє проходження;
- отримувати дані моніторингу процесів з другого рівня;
- надавати отримані з другого рівня дані іншим процесам третього та четвертого рівнів згідно із встановленими регламентами чи за їхніми запитами.

Управління ресурсами – процес, який відповідає за збирання, нагромадження, аналіз та обмін інформацією про ресурси і вироблення команд управління ними в реальному часі. Основні завдання:

- визначати рівні фахової підготовки, попередній досвід роботи, ділові та інші якості працівників, які необхідні для виконання різних посадових обов'язків у зоні відповідальності третього рівня управління;
- визначати експлуатаційні властивості обладнання, вимірювальної та комп'ютерної техніки, які можуть використовуватися у процесах, які діють у зоні відповідальності третього рівня;
- встановлювати вимоги (системні і користувачів) до програмних засобів, які можуть використовуватися у процесах, які діють у зоні відповідальності МОМ;
- встановлювати вимоги щодо комунікаційних засобів, які можуть використовуватися у процесах, які діють у зоні відповідальності МОМ;
- визначати нормативні показники споживання паливного газу, електроенергії, мастильних матеріалів, інших розхідних матеріалів для технологічних об'єктів;
- за запитами інших процесів та/чи персоналу надавати інформацію про доступність ресурсів різних типів;
- ініціювати запити персоналу чи інших процесів, які діють у зонах відповідальності третього та четвертого рівнів, на отримання ресурсів для створення нових виробничих процесів;
- підтверджувати придатність ресурсів для виконання визначених завдань і їхню доступність.

Визначення продукту – керування інформацією про визначальні параметри замовлень. Основні завдання:

- визначення зовнішніх визначальних параметрів: множина входів для відбору газу, множина виходів для постачання газу, графіки відбору газу зі входів і постачання газу на виходи, якісні показники газу по кожному входу і виходу;
- визначення множини внутрішніх визначальних параметрів:
 - ✓ сегмент мережі, задіяний у виконанні замовлення;
 - ✓ поточкорозподіл у цьому сегменті мережі;
 - ✓ графіки потужності КС у сегменті;
 - ✓ множина ПСГ для закачування газу згідно замовленню;
 - ✓ множина ПСГ для відбору газу згідно замовленню;
 - ✓ моменти часу початку закачування і початку відбору газу по кожній із задіяних свердловин ПСГ тощо;
- підтримання інтерфейсу між процесами рівня МОМ «диспетчеризація» та «виконавчий менеджмент», а також з процесами ERP рівня;
- передавання даних і команд на рівень II.

Відбір даних – процес, відповідальний за відбір, нагромадження, розповсюдження даних моніторингу параметрів фізичних і технологічних процесів, стану обладнання, матеріальних ресурсів. Основні завдання:

- відбір даних моніторингу фізичних та технологічних процесів;
- відбір даних про споживання ресурсів (трудові ресурси, паливний газ, електроенергія, розхідні матеріали);
- відбір даних моніторингу стану технологічного обладнання і пластів колекторів ПСГ;
- відбір даних моніторингу стану контрольно-вимірюваної апаратури, обчислювальної техніки, програмного забезпечення та каналів зв'язку, які діють на рівнях I–III;
- відбір даних контролю герметичності технологічного обладнання;
- фіксація нештатних і аварійних ситуацій;
- відбір даних про функціонування персоналу, який діє на рівнях I–III;
- підтримка інтерфейсів з процесами «виконавчий менеджмент», «аналіз продуктивності» та «відстеження виробництва».

Аналіз продуктивності – аналіз та звітування про ефективність роботи МГ і ПСГ, а також ефективність реалізації кожного замовлення. Основні завдання:

- неперервне обчислення питомих затрат ресурсів МГ і ПСГ (накладні витрати, трудові затрати, амортизація, паливний газ, електроенергія, розхідні матеріали);
- обчислення затрат ресурсів на виконання кожного замовлення;
- обчислення по кожному замовленню параметрів, оптимальних за критеріями затрат ресурсів: конфігурації МГ і поточкорозподілу на вибраному для замовлення сегменті, конфігурації КС і режимів їхньої експлуатації, конфігурації і режимів роботи ПСГ;
- порівняння реальних затрат на виконання замовлення із оптимальними;

- обчислення для кожного періоду планування параметрів, оптимальних за критеріями питомих затрат ресурсів: конфігурації МГ і поточкорозподілу в ГТС, конфігурації КС і режимів їхньої експлуатації, конфігурації і режимів роботи ПСГ;
- порівняння реальних питомих затрат за період планування із розрахованими оптимальними;
- порівняння затрат ресурсів для різних замовлень;
- порівняння питомих затрат для різних періодів планування;
- обчислення індикаторів продуктивності МГ, КС, ПСГ, сегментів мережі і всієї ГТС;
- підтримання інтерфейсу з процесами «відбір даних» та відстеження виробництва».

Відстеження виробництва – формування звітів про технологічні процеси і реалізацію замовлень. Основні завдання:

- неперервне зведення балансу маси газу по кожному замовленню, по визначених контрольних сегментах (наприклад, по регіональних філіях) і по мережі в цілому;
- неперервне виявлення витоків в МГ і КС та ідентифікація їхніх параметрів (місце, інтенсивність);
- неперервне порівняння даних про відбір і постачання газу по кожному замовленню із комерційними даними замовників;
- отримання даних від процесів «диспетчеризація», «виконавчий менеджмент», «відбір даних» та «аналіз продуктивності»;
- передавання даних до процесу «детальне планування» та на четвертий рівень управління;
- документування в реальному часі подій, які стосуються виконання замовлень: початок і завершення, порушення графіків відбору та постачання, порушення показників якості на вході та виході і його переміщення в інформації про продукт;
- формування інформації, необхідної для документування (tracking) і аналізу (tracing) процесів виконання замовлень;
- формування та надання інформації про технологічні процеси в МГ і ПСГ і виконання замовлень згідно визначеного графіку та/чи за запитами від персоналу й процесів, які функціонують у зонах відповідальності третього та четвертого рівнів управління.

6.3. Концепція поетапної автоматизації управління ГТС України

Розглянемо підхід до автоматизації ГТС України, який передбачає поступове нарощування функціоналу автоматизованої системи управління ГТС (рис. 4). Він передбачає, у першу чергу, створення та впровадження системи автоматизації управління на MOM рівні як MES системи згідно зі стандартом ANSI/ISA-95.

Системи оперативного управління найбільш специфічні з-поміж усіх систем автоматизації управління ГТС. Їхній функціонал жорстко пов'язаний із технологічними процесами і базується на математичних моделях виробничого обладнання, визначальних параметрів фізичних процесів, середовища функціонування виробництва тощо. Тож практично неможливо взяти одну із існуючих MES систем і налаштувати її для використання в ГТС України. Як виявилось, не вдається також і адаптувати MES системи,

які були створені для інших газотранспортних систем і успішно експлуатуються, оскільки ГТС України має специфічні характеристики, які не враховані під час побудови цих систем.



Рис. 3. Підхід до поетапної автоматизації управління газотранспортною системою України

Разом із тим, в АТ «Укртрансгаз» вже впроваджені і успішно експлуатуються системи, які реалізують низку функцій, специфічних для MES. Це програмні комплекси МПОК МГ та МПОК ПСГ. Група розробників програмних комплексів автоматизації оперативного управління здійснює, супроводжує і розширяє їхній функціонал відповідно до потреб користувачів цих систем. Тому доцільно будувати MES систему для ГТС України на основі цих комплексів силами фахівців, які їх створювали, здійснюють їх супровід і досконало знають специфіку ГТС України.

Другий етап – запровадження автоматичного моніторингу параметрів технологічних і фізичних процесів і передавання їх на рівень оперативного управління. На цьому етапі запроваджується також автоматичне передавання команд і сигналів управління, які формуються на третьому рівні, на другий (технологічний) рівень, а сигналів і повідомлень підтвердження – з другого на третій рівень.

Наступний етап – створення та впровадження інформаційної системи (ІС), структура та функціонування якої узгоджується із методологією MES, моделлю PERA та процесною моделлю управління. На цьому етапі буде запроваджений автоматичний обмін даними між системою оперативного управління та спеціалізованими базами ІС. Система оперативного рівня розміщатиме в тематичних базах даних (БД), після попереднього оброблення:

- дані моніторингу параметрів фізичних і технологічних процесів;
- дані про команди і сигнали керування, передані нею на технологічний рівень;
- дані про повідомлення і сигнали, отримані нею із цього рівня у відповідь.

Наступним етапом є впровадження систем автоматизації корпоративного рівня, таких як EPR, PLM, CRM, HRM тощо. Бізнес-логіка цих систем забезпечує формування інформації на основі даних ІС, зокрема тих, які надходять із технологічного й оперативного рівнів, і відображення її у відповідних форматах згідно запитів їхніх користувачів. Слід зазначити, що функціонал систем автоматизації управління на корпоративному рівні не так тісно пов'язаний із технологічними процесами, як на оперативному і технологічному рівнях. Тому тут можна використовувати існуючі програмні системи корпоративного рівня (наприклад, від корпорації SAP AG, чи інших), які дозволяють налаштовувати їхній функціонал під потреби конкретних виробників чи надавачів послуг.

На п'ятому етапі запроваджується автоматичний моніторинг параметрів усіх бізнес процесів. Бізнес-логіка комп'ютеризованих систем автоматизації управління, які діють на другому (технологічному), третьому (оперативному) та четвертому (корпоративному) рівнях забезпечує автоматичне збереження у відповідних БД ІС даних щодо здійснених ними транзакцій, ведуть журнали аудиту і т. д. На цьому етапі запроваджується інформаційний обмін між четвертим та третім рівнем згідно методології MES (рис. 3) через відповідні тематичні бази даних ІС.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Автоматизація управління ГТС за запропонованим підходом є сукупністю двох процесів – створення автоматизованої системи оперативного управління та створення автоматизованої системи корпоративного управління. Кожен із цих процесів складається із трьох завдань, які виконуються ітераційно. Перший процес (на рис. 3 обведений штриховою лінією) передбачає етапи з першого по третій, а другий процес (обведений на рис. 3 штрих-пунктирною лінією) – з третього по п'ятий. На початкових стадіях реалізації ці два процеси практично не взаємодіють. Взаємодія можлива лише на завершальній стадії остаточного формування ІС. Тому їх можна реалізувати паралельно. Завдяки цьому скорочується тривалість впровадження системи автоматизації, а відтак – і термін окупності витрат на модернізацію ГТС.

Системи рівня МОМ найбільш специфічні з-поміж усіх систем автоматизації управління ГТС. Їхній функціонал жорстко пов'язаний із технологічними процесами і базується на математичних моделях технологічного обладнання, визначальних фізичних процесів, середовища функціонування ГТС тощо. Тому за запропонованим підходом система автоматизації оперативного управління

створюватиметься як MES-система на основі наявних програмних комплексів МПОК МГ та МПОК ПСГ, які вже використовуються в оперативному управлінні, силами розробників цих комплексів. Це дозволить максимально урахувати специфічні характеристики ГТС України, а відтак істотно знизити затрати на проектування MES, її впровадження, навчання персоналу, супровід тощо.

Weaknesses. Згідно запропонованому підходові, з метою зменшення затрат, автоматизація управління ГТС здійснюватиметься із дотриманням вимоги максимально можливого збереження існуючих засобів, які наразі експлуатуються в АТ «Укртрансгаз». Це може негативно вплинути на функціонал MES, як системи оперативного рівня. Це особливо стосується наявної в АТ ІТ інфраструктури, яка за таких умов безперечно матиме вплив на архітектуру створюваної системи автоматизації, що, звісно, обмежуватиме свободу її розробників. Це може вплинути на ефективність MES системи, яка буде створена.

Opportunities. Функціонал систем автоматизації управління на корпоративному рівні не так тісно пов'язаний із технологічними процесами, як на MOM рівні. Тому тут можна використовувати програмні системи наявні на ринку, наприклад, від корпорації SAP AG, чи інших, налаштовуючи їхній функціонал під потреби ГТС.

Реалізація запропонованого підходу створить умови для запровадження процесної моделі управління [25] газотранспортною системою. Це, у свою чергу дозволить істотно знизити транзакційні витрати, підвищити мотивацію персоналу, запровадити клієнтоорієнтований підхід в управлінні ГТС.

Threats. Впровадження автоматизованої системи управління призведе до зменшення кількості персоналу, задіяного в управлінні ГТС на різних рівнях. До того ж від керівників вимагатиметься опанування сучасних технологій роботи з використанням комп'ютеризованих систем без посередників. Застосування ключових показників ефективності (англ. Key Performance Indicators, KPI), обчислюваних автоматично на основі даних моніторингу параметрів бізнес-процесів, знівелює роль суб'єктивного оцінювання діяльності управлінського персоналу. Все це створюватиме психологічну напругу в колективах і може викликати опозицію менеджменту ГТС до впровадження системи автоматизації.

8. Висновки

1. Проведений аналіз існуючих підходів до автоматизації управління ГТС показав, що на ринку програмно-технічних систем автоматизації управління виробничими підприємствами є достатньо пропозицій, призначених для газотранспортної галузі. Деякі з них узгоджуються зі стандартом ANSI/ISA-95. Проте системи рівня MOM найбільш специфічні з-поміж усіх систем автоматизації управління ГТС. Їхній функціонал жорстко пов'язаний із технологічними процесами, залежить від характеристик обладнання, середовища функціонування ГТС тощо. До того ж вартість готових рішень і їхньої адаптації до реалій української ГТС є занадто висока. Ключовим моментом запропонованого підходу є створення системи автоматизації оперативного управління як MES системи згідно методології стандарту ANSI/ISA-95. Її пропонується створювати на основі наявних програмних комплексів МПОК МГ та МПОК ПСГ, які вже використовуються в оперативному управлінні, силами розробників цих комплексів.

2. Розроблена логістична модель ГТС має важливу специфічну рису в порівнянні з традиційними виробничими системами дискретного, серійного чи неперервного типів. Її особливість у тому, що на корпоративному і частково на оперативному рівнях управління діють дискретні бізнес процеси оброблення замовлень на транспортування і зберігання визначених об'ємів природного газу. На оперативному рівні ці дискретні процеси забезпечуються відповідним керуванням неперервними технологічними і фізичними процесами в МГ і ПСГ.

3. Для здійснення такого перетворення парадигма MES у запропонованому підході адаптована до моделі логістики ГТС шляхом відповідного визначення інформаційних потоків, якими MES обмінюється із сусідніми рівнями. А також визначення функцій та змісту процесів, які діють на рівні MOM згідно із моделлю активності систем цього рівня.

4. У відповідності із прийнятою моделлю логістики MES система обмінюється із системами корпоративного рівня інформацією про зовнішні визначальні параметри замовлень, передає їй дані про вільні потужності МГ і ПСГ і отримує із верхнього рівня плани реалізації замовлень на транспортування і зберігання газу. Системам технологічного рівня MES передає дані про конфігурацію МГ, КС і ПСГ і команди управління персоналом та обладнанням, необхідні для керування неперервними технологічними і фізичними процесами, які забезпечують виконання запланованих замовлень. З другого рівня MES отримує підтвердження проходження команд та їхнього виконання, а також дані моніторингу фізичних і технологічних процесів.

5. Визначені функції та зміст процесів, що діють на рівні оперативного управління, забезпечують перетворення параметрів дискретних процесів, які надходять з корпоративного рівня у команди управління персоналом та керування технологічним обладнанням. Це необхідно для забезпечення належного керування технологічними і фізичними процесами.

Література

1. Magal S. R. Word Jeffrey Integrated Business Processes with ERP Systems: monograph. Wiley Publishing, 2011. 358 p.
2. Prytula N. M., Gryniv O. D., Dmytruk V. A. Simulation of nonstationary regimes of gas transmission systems operation // Mathematical modeling and computing. 2014. Vol. 1, Issue 2. P. 224–233.
3. Prytula N., Prytula M., Boyko R. Development of software for analysis and optimization of operating modes of underground gas stores // Technology Audit and Production Reserves. 2017. Vol. 2, Issue 3 (40). P. 17–25. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.128574>
4. ISA 95.00.03-2013. Enterprise-Control System Integration, Part 3: Models of Manufacturing Operations Management (IEC 62264-3 Modified). International Society of Automation (ISA), 2013. 94 p.
5. Vasilev P. ANSI/ISA-95 Final capacity scheduling for software industry // IFAC-Papers Online. 2015. Vol. 48, Issue 24. P. 237–240. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.12.089>

6. Govindaraju R., Putra K. A methodology for Manufacturing Execution Systems (MES) implementation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 114. P. 012094. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/114/1/012094>
7. Fuchs F., Thiel K. Manufacturing Execution Systems. Optimal Design, Planning, and Deployment: monograph. New York: McGraw-Hill, 2009. 248 p.
8. Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems. National Communications System (NCS). Technical Information Buletin 04-1. 2004. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/SCADA%20Systems.pdf>
9. Liptak B. G., Halit E. Batch-Process Automation // Instrument Engineers' Handbook. Vol. 3. CRC Press, 2016. P. 232–259.
10. Emerson Process Management. URL: <http://www3.emersonprocess.com/Systems/>
11. OSI Soft. Pi system. URL: <https://www.osisoft.com/pi-system/>
12. Paszko C., Turner E. Laboratory information management systems: monograph. Boca Raton: CRC press, 2001. 242 p. doi: <http://doi.org/10.1201/9780203908419>
13. Hompel M., Thorsten S. Warehouse management: Automation and organization of warehouse and order picking systems: monograph. Berlin: Springer, 2006. 356 p.
14. Jones K., Collis S. Computerized maintenance management systems // Property Management. 1996. Vol. 14, Issue 4. P. 33–37. doi: <http://doi.org/10.1108/02637479610150757>
15. PSI Gas Management Suite. URL: <https://www.psigasandoil.com/en/gas-management/gas-management-suite/>
16. SIMONE Research Group. Solutions For Simulation And Optimisation In The Gas Industry. URL: <http://www.simone.eu/simone-simonesoftware.asp>
17. Stark J. Product lifecycle management // Product Lifecycle Management. Vol. 1. Decision Engineering. Cham: Springer, 2015. 356 p. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-319-17440-2_1
18. Customer relationship management: monograph / Knox S. et. al. London: Routledge, 2007. 302 p. doi: <http://doi.org/10.4324/9780080490854>
19. SAP for Oil & Gas. URL: <https://www.sap.com/industries/oil-gas.html>
20. Totally Integrated Automation Portal. URL: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>
21. Chekurin V. F., Prytula M. H., Khymko O. M. Metodolohiia MES i kompiuteryzatsiia upravlinnia HTS // Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Kompiuterni systemy ta merezhi. 2014. Issue 806. P. 275–283.
22. Avtomatyzatsiia upravlinnia HTS: stan ta perspektyvy rozvytku z vykorystanniam MES / Ponomarov Yu. et. al. // Naftohazova haluz Ukrainy. 2015. Issue 5. P. 40–45.
23. Williams T. J. The Purdue enterprise reference architecture // Computers in Industry. 1994. Vol. 24, Issue 2-3. P. 141–158. doi: [http://doi.org/10.1016/0166-3615\(94\)90017-5](http://doi.org/10.1016/0166-3615(94)90017-5)
24. MESA International. MESA Model. URL: <http://www.mesa.org/en/modelstrategicinitiatives/MESAModel.asp>
25. Hammer M., Champy J. Reengineering of Corporation. A manifesto for business revolution. New York: Harper Business Essentials, 2003. 257 p.