

Моделювання архітектури та функціональності програмно-технічного комплексу для автоматизації управління магістральними газопроводами

Василь Чекурін¹, Мирослав Притула², Ольга Химко³

¹ д. ф.-м. н., професор, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, вул. Наукова, 3б, Львів; Куявсько-поморська школа вища в Бидгощі, вул. Торуньська, Бидгощ, 55-57Б, Польща, e-mail: v.chekurin@gmail.com

² к. ф.-м. н., Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України, вул. Дж. Дудасва, 15, Львів, 79005, e-mail: prytula@litech.net

³ к. т. н., доцент, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, 79013

У статті запропоновано модель структури інтегрованого програмно-технічного комплексу для автоматизації управління газотранспортною системою (ГТС). Комплекс включає в себе програмно-технічні системи для управління інформаційними та комерційними процесами, транспортуванням газу й експлуатацією споруд ГТС, які об'єднані єдиним інтерфейсом користувача та спільними інформаційними ресурсами. З використанням методології IDEF0 проведено аналіз функціональності комплексів.

Ключові слова: газотранспортна система, управління, автоматизація, програмно-технічні комплекси, моделювання архітектури та функцій.

Вступ. ГТС є складний комплекс магістральних газопроводів і підземних сховищ газу (ПСГ), оснащених компресорними станціями (КС), трубами-перемичками, запірно-регулювальною арматурою, іншими технологічними елементами [1]. Складові частини ГТС у сукупності утворюють цілісний інженерний об'єкт, функціонування якого визначають інформаційні, комерційні, технологічні та фізичні процеси.

Щоб ефективно керувати роботою цієї системи необхідна автоматизація технологічних процесів і роботи усіх підрозділів, критичних для її функціонування. Цього можна досягнути шляхом комп'ютеризації із використанням програмно-технічних систем (ПТС), робота яких базується на математичних моделях.

Такі ПТС слід розглядати як SIS-системи (Software Intensive Systems) — складні системи, функціональні можливості яких головно визначаються програмним забезпеченням [2]. Для побудови таких систем застосовують модельно-базований підхід. За цим підходом моделі процесів, окремих компонент і системи в цілому використовуються упродовж усього циклу її життя. Створення та використання моделей у ході проектування складних програмних систем передбачено різними моделями їхнього циклу життя. Наприклад, згідно технології MSDN [4] під час проектування програмних систем моделі застосовуються: а) на стадії формування

вимог користувача з метою розуміння потреб користувачів, б) для візуалізації коду та формування загального уявлення про параметри й об'єкти баз даних, в) для проектування архітектури системи, г) під час створення та налаштування частин прикладної програми на основі їхніх UML-моделей, д) у ході перевірки системи на відповідність вимогам і призначенню, е) на стадії тестування для створення тестів.

Для побудови цих моделей застосовують різні засоби: текстуальне та графічне моделювання з використанням діаграмної техніки, уніфіковану мову візуального моделювання UML (Unified Modeling Language), предметно-орієнтовані мови моделювання DSL (Domain-Specific Languages) [3], засоби моделювання за методологією IDEF [4]. Розвиваються також формальні математичні методи теорії складних програмних систем [4].

У статті розглядаються моделі архітектури та функцій ПТС, призначених для автоматизації управління процесами, визначальними для функціонування ГТС.

1. Моделі ГТС

Моделі ПТС будуватимемо, виходячи з моделей предметної області. Об'єктом є ГТС та процеси, які визначають її функціонування, а предметною областю ПТС є процеси управління цією системою. Тож розглянемо спочатку моделі ГТС.

Будь-яка модель є однією з можливих проекцій об'єкта, як частини реального світу, в деяку область світу відображень. Результат відображення залежить від концептуальної основи (точки зору), за якою здійснюється відображення. Тож, під моделлю ГТС розумітимемо структуру, яка відображає усі її елементи, істотні з точки зору, яку ця модель представляє, властивості цих елементів, спостережувані зовні системи, зв'язки між ними, а також зовнішні властивості системи, зумовлені її емерджентністю.

ГТС є нелінійна керована динамічна система з розподіленими параметрами, для якої характерні значні розміри й інерційність, дія розподілених і зосереджених зовнішніх впливів, значна невизначеність значень внутрішніх параметрів і зовнішніх чинників. Визначальними для функціонування системи є процеси перенесення маси, імпульсу й енергії газовими сумішами, силова та теплова взаємодія газу ГТС зі спорудами ГТС, обмін масою, імпульсом і енергією з довкіллям. ГТС, як виробничо-комерційна структура, містить різноманітні складники, необхідні для його ефективного функціонування. Це — організаційна структура, виробничий та інтелектуальний потенціали, матеріальні та фінансові ресурси, інженерно-технічний комплекс.

Спочатку розглянемо модель ГТС як систему $\mathcal{G}_B = (\mathcal{W}, \mathcal{O})$, що пов'язує множини входів $\mathcal{W} = \{W_1, W_2, \dots, W_{n_W}\}$ та виходів $\mathcal{O} = \{O_1, O_2, \dots, O_{n_O}\}$, де $n_W, n_O \in \mathbb{N}$. Математично цю систему можна задати за допомогою дводольного графа $\mathcal{G}_B = (\mathcal{N}_{\text{ext}}, \mathcal{L}_{\text{ext}})$, де $\mathcal{N}_{\text{ext}} = \mathcal{W} \cup \mathcal{O}$ — множина вузлових елементів, \mathcal{L}_{ext} — множина лінійних елементів, яка пов'язує вхідні вузли \mathcal{W} графа з його вихідними \mathcal{O} вузлами. Кожному елементові $N_{\text{ext}} \in \mathcal{N}_{\text{ext}}$ та $L_{\text{ext}} \in \mathcal{L}_{\text{ext}}$ поставимо

у відповідність деякі сукупності $\mathcal{P}_{N_{\text{ext}}}$ і $\mathcal{P}_{L_{\text{ext}}}$ параметрів стану цих елементів. Вважатимемо, що множини $\mathcal{P}_{N_{\text{ext}}}$ і $\mathcal{P}_{L_{\text{ext}}}$ містять усі параметри, необхідні для управління ГТС на рівні бізнес-процесів — географічні координати вузлових елементів, їхні пропускні здатності, довжину лінійних елементів і їхні пропускні здатності, обмеження по тиску газу для лінійних елементів, питомі затрати на транспортування газу та т. д. Позначимо як $\mathcal{P}_{\mathcal{N}_{\text{ext}}}$ і $\mathcal{P}_{\mathcal{L}_{\text{ext}}}$ множини параметрів стану для усіх вузлових і лінійних елементів: $\mathcal{P}_{\mathcal{N}_{\text{ext}}} = \bigcup_{N_{\text{ext}} \in \mathcal{N}_{\text{ext}}} \mathcal{P}_{N_{\text{ext}}}$, $\mathcal{P}_{\mathcal{L}_{\text{ext}}} = \bigcup_{L_{\text{ext}} \in \mathcal{L}_{\text{ext}}} \mathcal{P}_{L_{\text{ext}}}$. Множину $\mathcal{P}_{\mathcal{N}_{\text{ext}}}$ можна розглядати як об'єднання двох множин $\mathcal{P}_{\mathcal{N}_{\text{ext}}} = \mathcal{P}_{\mathcal{W}} \cup \mathcal{P}_{\mathcal{O}}$, де $\mathcal{P}_{\mathcal{W}}$ і $\mathcal{P}_{\mathcal{O}}$ — об'єднання множин параметрів стану для вхідних і вихідних вузлів $\mathcal{P}_{\mathcal{W}} = \bigcup_{W \in \mathcal{W}} \mathcal{P}_W$, $\mathcal{P}_{\mathcal{O}} = \bigcup_{O \in \mathcal{O}} \mathcal{P}_O$. Нехай $\mathcal{P}_{\mathcal{B}} = \mathcal{P}_{\mathcal{N}_{\text{ext}}} \cup \mathcal{P}_{\mathcal{L}_{\text{ext}}}$ — множина, яка містить усі параметри, необхідні для управління ГТС на рівні бізнес-процесів, тоді пара $\mathcal{M}_{\mathcal{B}} = (\mathcal{G}_{\mathcal{B}}, \mathcal{P}_{\mathcal{B}})$ визначає бізнес-модель ГТС.

За належного формування множини параметрів стану $\mathcal{P}_{\mathcal{B}}$ рівень деталізації, який надає модель $\mathcal{M}_{\mathcal{B}}$ є достатній для управління ГТС на рівні бізнес-процесів, а саме — для формування планів постачання газу з входів \mathcal{W} системи на її виходи \mathcal{O} , за критерієм отримання максимального прибутку з дотриманням допустимих рівнів бізнес-ризиків і екологічної загрози.

Проте в рамках цієї моделі неможливо оптимізувати затрати на транспортування газу, оцінювати вплив системи на довкілля, як і зворотній вплив, враховувати вплив режимів транспортування на технічний стан споруд тощо. Для цього слід взяти до розгляду фізичні процеси, які протікають у системі під час її експлуатації.

Розглянемо ГТС як відкриту термодинамічну систему, що складається зі споруд ГТС \mathcal{C} та накопиченого в них газу \mathcal{F} , подаючи її модель у вигляді $\mathcal{M}_{\mathcal{T}} = (\mathcal{C}, \mathcal{F})$. Щоб мати можливість формулювати та досліджувати в рамках цієї моделі взаємозв'язані фізичні та фізико-хімічні процеси, які протікають у складниках \mathcal{C} та \mathcal{P} під час експлуатації ГТС, деталізуємо ці складники.

Споруди ГТС — це трубопроводи, з'єднання труб, запірно-регулювальна апаратура, компресорні станції, ПСГ тощо. Залежно від їхніх розмірів, усі ці об'єкти поділяються на дві групи — вузлові елементи та трубопроводи (лінійні елементи). Схема з'єднання усіх споруд ГТС у цілісну мережу визначає модель конфігурації $\mathcal{G}_{\mathcal{C}}$, яку можна подати у вигляді графа $\mathcal{G}_{\mathcal{C}} = (\mathcal{N}, \mathcal{E})$, де \mathcal{N} — множина вузлових елементів, \mathcal{E} — множина трубопроводів. Елементи кожної із множин \mathcal{N} та \mathcal{E} поділяються на категорії, залежно від призначення, технічних параметрів тощо: $\mathcal{N} = \bigcup_{K=1}^{n_{\mathcal{N}}} \mathcal{N}^K$, $\mathcal{E} = \bigcup_{L=1}^{n_{\mathcal{E}}} \mathcal{E}^L$, де $n_{\mathcal{N}}$ та $n_{\mathcal{E}}$ — кількості категорій вузлових і лінійних елементів, $\mathcal{N}^K = \{N_1^K, N_2^K, \dots, N_{n_K}^K\}$ — множина вузлових елементів категорії $K \in \{1, 2, \dots, n_{\mathcal{N}}\}$, $\mathcal{E}^L = \{T_1^L, T_2^L, \dots, T_{n_L}^L\}$ — множина трубопроводів категорії $L \in \{1, 2, \dots, n_{\mathcal{E}}\}$.

Множина вузлів \mathcal{N}_{ext} графа \mathcal{G}_B є підмножиною вузлів бізнес-моделі ГТС $\mathcal{G}_B: \mathcal{N}_{\text{ext}} \subset \mathcal{N}$, а множина ребер \mathcal{L} цього графа, множина шляхів графа \mathcal{G}_C , які пов'язують його входи з виходами.

Актуальний фізичний стан споруд визначається напруженнями, деформаціями, температурою, дефектами структури матеріалів. Зміну стану зумовлюють взаємопов'язані процеси деформації, теплопровідності, дифузії, деградації та руйнування матеріалу тощо, які протікають у матеріалі споруд (металі трубопроводів, конструктивних елементів КС, твердому каркасі пористих пластів ПСГ тощо). Для їхнього опису можна застосовувати методи термомеханіки деформованого твердого тіла, теорії міцності та надійності, технічну діагностику тощо. Це дозволяє враховувати в математичних моделях взаємодію процесів різної фізичної природи, реальну геометрію споруд, силовий і тепловий вплив накопиченого в них газу, зовнішні чинники.

Для моделювання фізичних процесів у спорудах ГТС та опису еволюції їхнього стану поставимо у відповідність будь-якому елементові $N \in \mathcal{N}$ і $T \in \mathcal{F}$ математичну модель фізичних процесів, які в ньому протікають: $N \rightarrow \mathcal{P}_N$, $T \rightarrow \mathcal{P}_T$. Моделі \mathcal{P}_N і \mathcal{P}_T містять у собі рівняння та співвідношення, які описують протікання механічних, теплових, дифузійних, електрофізичних, фізико-хімічних процесів у матеріалі споруд ГТС (металі елементів і в пористому середовищі ПСГ). Ці рівняння враховують, технологічне призначення елемента, умови його експлуатації, геометрію, взаємодію з накопиченим в ньому газом і довіллям, фізико-механічні та теплофізичні властивості матеріалу тощо. Позначимо як $\mathcal{P}_{\mathcal{N}}$ і $\mathcal{P}_{\mathcal{F}}$ сукупності математичних моделей фізичних процесів у всіх вузлових і лінійних елементах моделі $\mathcal{G}_C: \mathcal{P}_{\mathcal{N}} = \{\mathcal{P}_{N_1}, \mathcal{P}_{N_2}, \dots, \mathcal{P}_{N_{n_{\mathcal{N}}}}\}$, $\mathcal{P}_{\mathcal{F}} = \{\mathcal{P}_{T_1}, \mathcal{P}_{T_2}, \dots, \mathcal{P}_{T_{n_{\mathcal{F}}}}\}$. До моделей $\mathcal{P}_{\mathcal{N}}$ і $\mathcal{P}_{\mathcal{F}}$ додамо сукупність співвідношень $\mathcal{P}_{\mathcal{CF}}$, які визначають закони збереження маси імпульсу й енергії у процесах взаємодії споруд ГТС C з газом \mathcal{F} , який через них протікає, та довіллям. Сукупність усіх трьох множин утворює математичну модель процесів у спорудах ГТС: $\mathcal{P}_C = \mathcal{P}_{\mathcal{N}} \cup \mathcal{P}_{\mathcal{F}} \cup \mathcal{P}_{\mathcal{CF}}$, а модель споруд ГТС \mathcal{M}_C визначимо як $\mathcal{M}_C = (\mathcal{G}_C, \mathcal{P}_C)$

Актуальний фізичний стан газу \mathcal{F} , накопиченого в спорудах ГТС, визначається просторовими розподілами густини, тиску, швидкості, температури, внутрішньої енергії та інших термодинамічних параметрів. Зміна стану газу визначається процесами перенесення маси, імпульсу й енергії газовим середовищем. Ці процеси протікають в областях внутрішніх порожнин споруд ГТС і описуються нелінійними диференціальними рівняннями газової динаміки, що залежать від трьох просторових координат і часу. Проте, беручи до уваги геометрію трубопроводу, можна знехтувати координатною залежністю газодинамічних параметрів у його поперечному перерізі, а враховувати лише їхню залежність від координати у напрямку осі труби та часової змінної. Для вузлових елементів у багатьох випадках можна не брати до уваги координатну залежність параметрів, а враховувати лише їхню залеж-

ність від часу. Ці наближення дозволяють спростити математичну модель транспортування газу до рівня, який забезпечує чисельне розв'язування нелінійних задач моделювання й оптимізації процесів транспортування газу ГТС у реальному часі з точністю розрахунку, достатньою для потреб автоматизації керування цими процесами.

Такі спрощення дозволяють спростити і модель споруд ГТС та перейти від моделі конфігурації \mathcal{G}_C до графа конфігурації $\mathcal{G}_f = (\mathcal{X}, \mathcal{E})$, де \mathcal{X} та \mathcal{E} — множини вершин і ребер графа. Множина \mathcal{X} представляє усі вузлові елементи, а множина \mathcal{E} — усі лінійні елементи моделі конфігурації: $|\mathcal{X}| = n_x$, $|\mathcal{E}| = n_e$, $n_x = \sum_{K=1}^{n_N} n_K$, $n_e = \sum_{L=1}^{n_E} n_L$. Модель \mathcal{G}_f , на відміну від моделі \mathcal{G}_C , враховує лише розмірну гетерогенність споруд ГТС. Проте, між множинами \mathcal{N} та \mathcal{X} , а також між множинами \mathcal{F} та \mathcal{E} можна встановити взаємно-однозначні відображення: $\mathcal{N} \leftrightarrow \mathcal{X}$, $\mathcal{F} \leftrightarrow \mathcal{E}$, а відтак — і між моделями споруд ГТС \mathcal{G}_C та \mathcal{G}_f : $\mathcal{G}_C \leftrightarrow \mathcal{G}_f$.

Для врахування фізичної та технологічної різноманітності елементів ГТС поставимо у відповідність будь-якому елементові $X \in \mathcal{X}$ та $E \in \mathcal{E}$ математичну модель протікання газу через цей елемент: $X \rightarrow \mathcal{M}_X$, $E \rightarrow \mathcal{M}_E$. Моделі \mathcal{M}_X та \mathcal{M}_E містять у собі рівняння стану, балансу маси, імпульсу й енергії газу і враховують геометрію елемента, його технологічне призначення, умови експлуатації, взаємодію газу з внутрішньою поверхнею елемента тощо.

Позначимо як \mathcal{P}_x і \mathcal{P}_e сукупності математичних моделей фізичних процесів, які визначають протікання газу через усі вузли й усі ребра графа конфігурації \mathcal{G}_f : $\mathcal{P}_x = \{\mathcal{P}_{X_1}, \mathcal{P}_{X_2}, \dots, \mathcal{P}_{X_{n_x}}\}$, $\mathcal{P}_e = \{\mathcal{P}_{E_1}, \mathcal{P}_{E_2}, \dots, \mathcal{P}_{E_{n_e}}\}$, а через \mathcal{P}_{gq} — множину співвідношень, які визначають закони збереження маси імпульсу й енергії у процесах взаємодії газу ГТС \mathcal{F} зі спорудами \mathcal{C} та доквілліям. Сукупність усіх трьох множин утворює математичну модель процесів у газі ГТС: $\mathcal{P}_C = \mathcal{P}_N \cup \mathcal{P}_f \cup \mathcal{P}_{gq}$, а модель газу ГТС \mathcal{M}_g визначимо як $\mathcal{M}_g = (\mathcal{G}_f, \mathcal{P}_g)$.

З урахуванням цього термодинамічну модель ГТС \mathcal{M}_T розглядатимемо як сукупність моделей \mathcal{M}_C та \mathcal{M}_g : $\mathcal{M}_T = (\mathcal{M}_C, \mathcal{M}_g)$.

Інформаційні процеси є визначальні для усіх напрямків — управління комерційною діяльністю, транспортуванням газу, експлуатацією споруд ГТС. На всіх цих напрямках використовуються дані вимірювання параметрів фізичних процесів, результати моделювання й оптимізації, отримані з використанням моделей \mathcal{M}_B , \mathcal{M}_C та \mathcal{M}_g . Питання побудови інформаційної моделі ГТС \mathcal{M}_q має бути предметом спеціального розгляду. Тут виходитимемо лише з того, що модель \mathcal{M}_g адекватно відображає основні функції інформаційної системи ГТС.

Чотири моделі \mathcal{M}_B , \mathcal{M}_C , \mathcal{M}_g та \mathcal{M}_g , які формують концептуально різні проєкції об'єкта реального світу в світ відображень, утворюють у сукупності модель, необхідну для автоматизації управління ГТС. Як випливає із проведеного розгляду, усі чотири складники є взаємопов'язані між собою.



Рис. 1. Структура математично-алгоритмічного забезпечення

печення для реалізації функцій управління транспортуванням газу й експлуатацією споруд ГТС.

Процеси взаємодії ГТС із довкіллям, які враховують моделі \mathcal{P}_B , \mathcal{P}_C , \mathcal{P}_F та \mathcal{M}_E , залежать від параметрів стану довкілля — температури, тиску та вологості повітря, силова дія вітрових навантажень, зміщення зумовлені зсувами опор трубопроводі, тиском ґрунтів тощо. Якщо не брати до уваги вплив ГТС на довкілля, то ці параметри можна вважати заданими. Тоді за модель довкілля \mathcal{M}_E можна прийняти належним чином добрану множину \mathcal{P}_E параметрів стану зовнішнього середовища, які визначають взаємодію підсистем ГТС із довкіллям. Для урахування впливу газотранспортної системи на довкілля модель \mathcal{M}_E слід доповнити відповідними рівняннями, які описують зміну стану довкілля під впливом процесів у складниках ГТС.

2. Моделі управління ГТС

Управління газотранспортною системою має на меті: а) гарантоване доставляння природного газу з входів системи на її виходи в заданих об'ємах; б) підтримання системи у технічному стані, який забезпечує гарантоване доставляння природного газу та заданий рівень екологічної безпеки, в) отримання максимального прибутку від роботи ГТС.

ГТС є гетерогенною системою, яка складається із різномірних за своєю природою складових частин. Тому під час реалізації функцій управління необхідно враховувати взаємодію процесів різної природи. Виділимо чотири групи процесів, які визначають функціонування ГТС це — інформаційні та комерційні процеси, транспортування газу й експлуатація споруд ГТС. Фізичні процеси

Взаємозв'язок інформаційної моделі \mathcal{M}_I з моделями \mathcal{M}_B , \mathcal{M}_C та \mathcal{M}_F зумовлено інформаційним обміном як у межах систем, які вони відображають, так і між цими системами. Взаємозв'язок моделей \mathcal{M}_C та \mathcal{M}_F зумовлено взаємодією фізичних процесів, які протікають у підсистемах ГТС \mathcal{C} та \mathcal{F} . Взаємозв'язок моделі \mathcal{M}_B з моделями \mathcal{M}_C та \mathcal{M}_F виникає внаслідок того, що бізнес-процеси впливають на режими роботи споруд ГТС, а відтак — на фізичні процеси, які протікають в підсистемах \mathcal{C} та \mathcal{F} . З іншого боку, навантаження на споруди ГТС спричиняє їх зношування, внаслідок чого змінюються значення параметрів, які утворюють множину \mathcal{P}_B , що є складником моделі \mathcal{M}_B .

Взаємозв'язок між моделями \mathcal{M}_C та \mathcal{M}_F проілюстровано на рис. 1. Тут зображено структуру математично-алгоритмічного забезпечення

супроводжують усі чотири групи процесів. Найбільше значення мають фізичні процеси для транспортування газу, експлуатації споруд і реалізації інформаційних процесів. Виходячи з цього множину \mathcal{F} функцій управління ГТС розглядатимемо як сукупність функцій управління цими групами процесів: $\mathcal{F} = (\mathcal{F}_I, \mathcal{F}_B, \mathcal{F}_F, \mathcal{F}_C)$, де \mathcal{F}_I , \mathcal{F}_B , \mathcal{F}_F та \mathcal{F}_C — функції управління інформаційними, комерційними, транспортними процесами й експлуатацією споруд ГТС.

Управління інформаційними процесами має на меті підтримання інформаційної системи у стані, який забезпечує: а) відбір і нагромадження об'єктивних даних у обсягах, необхідних для надійного управління комерційними процесами, транспортування газу й експлуатацією споруд ГТС; б) обмін інформацією між підсистемами ГТС в реальному часі; в) оперативне надання інформаційних послуг користувачам усіх груп відповідно до їх потреб. Реалізація цієї мети відбувається шляхом вибору належної структури інформаційної системи, її адаптування до актуальних потреб управління.

Управління бізнес процесами має на меті: а) досягнення максимальної економічної ефективності роботи ГТС, б) виконання зобов'язань перед постачальниками та споживачами природного газу, в) розвиток інфраструктури ГТС, відповідно до короткострокових і довгострокових прогнозів розвитку ринку газотранспортних послуг, г) мінімізацію екологічного та бізнес ризиків.

Управління транспортуванням газу має на меті реалізацію режимів транспортування газу, які забезпечують: а) виконання зобов'язань перед постачальниками та споживачами природного газу, б) мінімальні втрати газу та витрати паливно-енергетичних ресурсів, в) дотримання заданих рівнів інтенсивності зношування споруд ГТС, г) дотримання допустимих норм забруднення атмосферного та водного басейнів, ґрунтів і геологічних пластів, д) дотримання заданих рівнів технологічної й екологічної небезпеки. Реалізація цієї мети відбувається шляхом керування конфігурацією мережі, режимами роботи компресорних станцій і підземних сховищ газу, а також управлінням виробничим та інтелектуальним потенціалами, які є у розпорядженні диспетчерської служби та інших підрозділів.

Управління експлуатацією споруд ГТС має на меті утримання споруд ГТС у технічному стані, який забезпечує: а) виконання усіх функцій транспортування газу, б) високу ефективність функціонування споруд ГТС, в) заданий рівень екологічної безпеки. Реалізація цієї мети відбувається шляхом технічного обслуговування, реконструкції та модернізації споруд ГТС, спорудження нових трубопроводів, компресорних станцій та інших споруд, управлінням виробничим та інтелектуальним потенціалами, які є у розпорядженні служби експлуатації, ремонту та реконструкції тощо.

3. Моделювання архітектури інтегрованого програмно-технічного комплексу для автоматизації управління ГТС

Розглянуті моделі дозволяють звести проблему автоматизації управління ГТС до створення програмно-технічних систем (ПТС) для автоматизації кожного напрямку управління та забезпечення взаємодії між ними. Тож розглядатимемо ПТС, призначені для автоматизації управління: а) бізнес-процесами (ПТС БП), б) інформа-

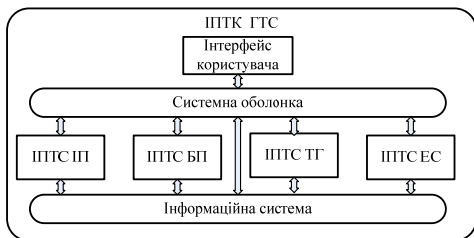


Рис. 2. Модель архітектури ІПТК ГТС

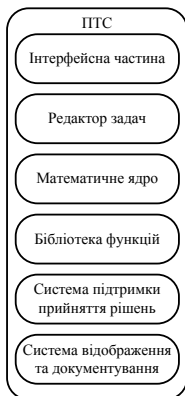


Рис. 3. Модель архітектури ІПТС

ційними процесами (ІПТС ІП), в) процесами транспортування газу ІПТС ТГ, г) процесами експлуатації споруд ГТС (ІПТС ЕС). Для розв'язання проблеми їхньої взаємодії ІПТС об'єднані в інтегрований програмно-технічний комплекс (ІПТК) єдиним інтерфейсом користувача та спільними інформаційними ресурсами (рис. 2).

Системна оболонка ІПТК реалізує функції керування обліковими записами користувачів, доступом прикладних процесів до спільних інформаційних та обчислювальних ресурсів і периферійних пристроїв, здійснює захист інформації від локальних і віддалених атак. Важливою її функцією є формування та підтримання віртуальних обчислювальних середовищ користувачів із використанням системних ресурсів і функцій ІПТС напрямків.

Робота ІПТС напрямків базується на математичних моделях та алгоритмічному забезпеченні, специфічних для кожного напрямку управління. Структуру ІПТС показано на рис. 3. Три складники ІПТС — математичне ядро, бібліотека функцій і система прийняття рішень будуються на основі моделей M_B , M_C , M_F та M_I .

4. Моделювання функцій ІПТС

Для аналізу функціональності ІПТС напрямків застосуємо методологію функційного моделювання IDEF0 [4]. Ця методологія дозволяє графічно зображати функції SIS-систем, визначати їхні входи та виходи, механізми реалізації, а також зовнішні обмеження (керування). На рис. 4 показані IDEF0-моделі ІПТС для управління бізнес-процесами (а), транспортуванням газу (б) й експлуатацією (в). Входами функції \mathcal{F}_B є: I_B^1 — параметри стану ринку газотранспортних послуг, I_B^2 — актуальна програма завантаження ГТС та I_B^3 дані щодо доступних вільних потужностей ГТС. Виходами цієї функції є: O_B^1 — програма завантаження ГТС на наступний період, O_B^2 — програми реорганізації організаційної структури та перерозподілу виробничого й інтелектуального потенціалів, необхідні для реалізації нової програми завантаження ГТС, O_B^3 — програма оперативного управління на рівні бізнес-процесів на наступний період, O_B^4 — дані моніторингу й аудиту бізнес-процесів. Для реалізації функції \mathcal{F}_B використовуються механізми моделі бізнес процесів M_B , які діють під керуванням державних законодавчих норм і стандартів C_B^1 , галузевих і внутрішніх технічних умов і технологічних вимог C_B^2 , вимог екологічної безпеки C_B^2 , бізнес-вимог C_B^4 .

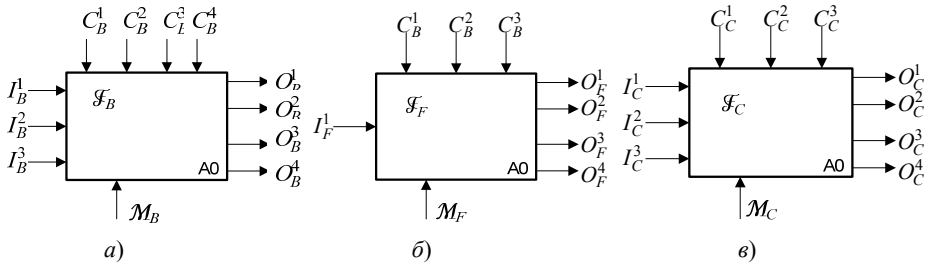


Рис. 4. IDEF0-моделі ПТС

Входом функції $\mathcal{F}_B \in I_B^1$ — актуальна програма завантаження ГТС, а виходами: O_B^1 — розклади змін конфігурації ГТС, режимів роботи КС і ПСГ, O_B^2 — дані розрахунку вільних потужностей, O_B^3 — програма оперативного управління на рівні процесів транспортування газу на наступний період, O_B^4 — дані моніторингу й аудиту процесів транспортування газу. Реалізація функцій \mathcal{F}_B здійснюється з використанням механізмів моделі транспортування газу M_B під керуванням технологічних вимог C_B^1 , вимог екологічної безпеки C_B^2 і бізнес-вимог C_B^3 .

Входами функції $\mathcal{F}_C \in I_C^1$ — розклади змін конфігурації ГТС, режимів роботи КС і ПСГ, I_C^2 — дані об'єктивного контролю стану споруд ГТС, I_C^3 — дані про параметри стану довкілля. Виходами цієї функції є: O_C^1 — дані розрахунку надійності споруд ГТС, оцінка екологічних і бізнес-ризиків, O_C^2 — програма реконструкції споруд ГТС, O_C^3 — програма оперативного управління на рівні процесів експлуатації споруд ГТС, O_C^4 — дані моніторингу й аудиту процесів експлуатації споруд ГТС. Реалізація функцій \mathcal{F}_C здійснюється з використанням механізмів моделі M_C під керуванням технологічних вимог C_C^1 , вимог екологічної безпеки C_C^2 і бізнес-вимог C_C^3 .

IDEF0-моделі функцій різних ПТС дозволяють виявити взаємозв'язки між цими функціями та їхній зв'язок із функціями інформаційної системи та є основою для побудови IDEF0-моделі ППТК.

Висновки. Газотранспортна система як об'єкт управління є відкрита гетерогенна система, що поєднує в єдине ціле інженерно-технічний комплекс, організаційну структуру, виробничий та інтелектуальний потенціали, матеріальні та фінансові ресурси. Взаємопов'язані процеси, які визначають функціонування цієї системи, можна поділити на чотири групи — інформаційні, комерційні, технологічні та фізичні процеси. Управління цією системою можна автоматизувати, використовуючи інтегрований програмно-технічний комплекс, що складається із програмно-технічних комплексів для управління процесами транспортування газу, експлуатації споруд ГТС, інформаційних і бізнес-процесів. Єдиний інтерфейс користувача та спільні інформаційні ресурси забезпечують обмін інформацією між ПТС,

ефективний захист інформації та розподіл системних ресурсів між користувачами, які діють у предметних областях різних ПТС.

Функційну модель ППТК можна створити шляхом композиції IDEF0-моделі інформаційної системи ППТК із функційними моделями ПТС БП, ПТС ТГ та ПТС ЕС. Декомпозиція IDEF0 моделей цих ПТС дозволить деталізувати їх архітектури та структурувати інформаційні процеси в ППТК.

Література

- [1] The Interstate Natural Gas Transmission System: Scale, Physical Complexity and Business Model. Executive Summary / INGAA Foundation Reports. Pipeline Knowledge & Development <http://www.ingaa.org/?ID=10724>.
- [2] *Bonneau V.* at al, Software intensive systems in the future// ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/embedded/puissochet-060207_en.pdf.
- [3] MSDN. Моделирование приложения. <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/>
- [4] *Menzel C., Mayer R. J.* The IDEF Family of Languages // Handbook on Architectures of Information Systems. International Handbooks on Information Systems. — 2006. — P. 215-249.
- [5] *Krob D.* Modeling of Complex Software Systems: A Reasoned Overview // Formal Techniques for Networked and Distributed Systems – FORTE 2006 Lecture Notes in Computer Science. — 2006. — Vol. 4229. — P. 1-22.

Architecture and functional modelling of hardware-software complex for automation of management by gas-main pipelines

Vasyl Chekurin, Myroslav Prytula, Olga Khymko

An architecture model of an integrated hardware-software complex for automation of management by a gas transmission system has been considered in the paper. The integrated complex consists of four hardware-software systems aimed for computerization of management by four groups of heterogeneous processes — informational and business processes, gas transportation and GTS infrastructure maintenance. The systems are united by single user interface and common informational resources. The functionalities of the systems have been analyzed with the use of IDEF0 methodology.

Моделирование архитектуры и функциональности программно-технического комплекса для автоматизации управления магистральными газопроводами

Василь Чекурин, Мирослав Притула, Ольга Хымко

В статье предложена модель структуры интегрированного программно-технического комплекса для автоматизации управления газотранспортной системой, который включает в себя программно-технические системы для управления информационными и коммерческими процессами, транспортом газа и эксплуатацией сооружений газотранспортной системы, объединенных единым пользовательским интерфейсом и общими информационными ресурсами. С использованием методологии IDEF0 проведен анализ функциональности программно-технических систем.

Отримано 28.10.13