

# ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОЮ СИСТЕМОЮ УКРАЇНИ\*

**В.Ф. Чекурін<sup>1</sup>, Ю. В. Пономарьов<sup>2</sup>, М.Г. Притула<sup>2</sup>, О.М. Химко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України. 79060, м. Львів, вул. Наукова, 3-б.  
E-mail: adm@iapmm.lviv.ua

<sup>2</sup>Науково-дослідний інститут транспорту газу АТ «Укртрансгаз». 61004, м. Харків, вул. Конєва, 16.  
E-mail: titarev-aa@utg.ua

<sup>3</sup>Національний університет «Львівська політехніка». 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12.  
E-mail: coffice@lpnu.ua

У статті розглядається варіант поетапної автоматизації управління газотранспортною системою України з використанням методології, визначеної стандартом ANSI/ISA-95, та сучасних методів управління цілісністю трубопроводів. Підхід передбачає збереження та розвиток наявних засобів автоматизації технологічних процесів, а також вже впроваджених систем моделювання, планування, оптимізації та керування магістральними газопроводами і підземними сховищами газу та формування на їхній основі системи автоматизації оперативного управління, яка задовольняє вимогам цього стандарту. Автоматизація управління газотранспортною системою за запропонованим підходом є сукупністю двох процесів, кожен із яких складається із трьох етапів, які виконуються ітераційно. Перший процес: створення системи оперативного управління, запровадження автоматичного моніторингу параметрів технологічних і фізичних процесів та формування інформаційної системи у частині забезпечення оперативного управління та керування технологічними процесами. Другий процес: формування інформаційної системи у частині забезпечення бізнес-процесів, впровадження автоматизованої системи корпоративного управління та впровадження автоматичного моніторингу бізнес процесів. Бібліогр. 25, рис. 6.

*Ключові слова:* газотранспортна система, автоматизація управління, управління цілісністю магістральних газопроводів, MES

Газотранспортна система (ГТС) – це комплекс взаємозв’язаних магістральних газопроводів (МГ) і підземних сховищ газу (ПСГ), оснащених компресорними станціями, запірно-регулювальною арматурою, іншими технологічними елементами, які в сукупності утворюють цілісний інженерний об’єкт. Як логістична система, ГТС створює додаткову вартість, реалізуючи замовлення на транспортування і зберігання природного газу. Газотранспортна система України є другою за потужністю в Європі. Вона забезпечує доставку природного газу внутрішнім користувачам, його зберігання в підземних сховищах, транзит у суміжні країни [1]. Україна активно реформує свою газотранспортну систему відповідно до європейських і світових стандартів: з 1 січня 2020 р. в результаті анбандлінгу функція управління ГТС передана від АТ «Укртрансгаз» незалежній компанії «Оператор ГТС України» [2].

Висока ефективність МГ досягається застосуванням труб великого діаметру та підтриманням високого тиску газу в магістралях за допомогою компресорних станцій. За таких умов неконтрольована розгерметизація МГ може мати негативні наслідки, загрозливі як для людей, так і довкілля [3]. Тому технологічні об’єкти МГ, зокрема такі,

як газорозподільні станції, резервні нитки, переходи через природні та штучні перешкоди, класифікуються як об’єкти підвищеної небезпеки [4–6].

За тривалої експлуатації надійність технологічних об’єктів неминуче знижується. Значна частина магістральних газопроводів України вже вичерпали свої проектні терміни експлуатації [3]. Технічне обслуговування та планові відновлювальні ремонти підтримують надійність об’єктів МГ у певних межах. Проте все ж існують загрози порушення цілісності технологічних об’єктів МГ і пов’язані із ними ризики виникнення ситуацій, небезпечних для довкілля і людей, а також зростають рівні можливих матеріальних та фінансових втрат. Тому реформування стратегічного управління ГТС необхідно супроводжувати відповідними змінами на оперативному і технологічному рівнях [2]. Зокрема, для підвищення керованості цієї системи та ефективності її експлуатації необхідно автоматизувати інформаційні та бізнес процеси на стратегічному та оперативному рівнях із застосуванням математичного моделювання та комп’ютеризації. Слід запроваджувати систему управління цілісністю МГ. Безперервний контроль цілісності МГ, які експлуатують тривалий час, дозволяє знизити ймовірність неконтрольованої розгерметизації МГ.

\*За результатами виконання цільової комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд і машин» («Ресурс»), отриманих за 2016–2020 рр.

Чекурін В.Ф. – <http://orcid.org/0000-0003-4973-3670>, Пономарьов Ю. В. – <http://orcid.org/0000-0002-5677-3657>

Притула М.Г. – <http://orcid.org/0000-0001-9259-4114>, Химко О.М. – <http://orcid.org/0000-0003-2641-8133>

© В.Ф. Чекурін, Ю. В. Пономарьов, М.Г. Притула, О.М. Химко, 2020

Це узгоджується з нормативними документами [5, 6] і сучасними підходами до управління цілісністю трубопровідних транспортних систем [7–12].

У статті розглядається варіант поетапної автоматизації управління газотранспортною системою України з використанням методології, визначеної стандартом ANSI/ISA-95 [13], та сучасних методів управління цілісністю трубопроводів PIMS (Pipeline Integrity Management). Підхід передбачає збереження та удосконалення наявних засобів автоматизації технологічних процесів і систем моделювання, планування, оптимізації та керування магістральними газопроводами і підземними сховищами газу та формування на їхній основі системи автоматизації оперативного управління, яка задовольняє вимогам цього стандарту.

**Аналіз актуального стану автоматизації управління ГТС України.** Згідно з даними Департаменту автоматизації та зв'язку АТ «Укртрансгаз», яке до 2020 р. було оператором ГТС України, на корпоративному рівні управління функціонує комп'ютерна мережа, яка налічує 100 вузлів по всій території України. За допомогою платформ Nureg-V та Oracle-VM реалізоване віртуальне обчислювальне середовище. В мережі встановлені служба каталогів та сервіс DNS, які забезпечують єдину автентифікацію та авторизацію користувачів та розділення прав їх доступу до каталогів та ресурсів, єдине сховище даних, а також сервіси Microsoft System Configuration Manager та System Center Operation Manager, які 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. 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, цілодобову підтримку та консультації користувачів. Служба функціонує відповідно до міжнародних практик організації ІТ процесів MOF/ITIL<sup>1</sup>. На корпоративному рівні керування підприємством діє також комплексна автоматизована система керування, створена на основі програмного забезпечення SAPERP. Вона забезпечує єдиний механізм обліку та керування матеріальними активами.

На рівні оперативного диспетчерського управління створена обліково-аналітична система опе-

ратора газосховищ України, яка використовує СКБД ORACLE та вирішує наступні задачі: ведення режимного журналу, добовий баланс газу, крановий журнал, журнал роботи газоперекачувальних агрегатів (ГПА), облік енергоресурсів на технологічні потреби, облік фізико-хімічних параметрів газу. Тут використовують також програмні комплекси, створені ТЗОВ «Математичний центр» і відділом розробки систем оптимального планування та прогнозування режимів роботи ГТС Науково-дослідного інституту транспорту газу АТ «Укртрансгаз». Це, зокрема, система моделювання, планування, оптимізації та формування параметрів керування газовими потоками (МПОК МГ «МЦ») та система моделювання, планування, оптимізації та керування роботою ПСГ (МПОК ПСГ «МЦ»), які експлуатують диспетчерські служби та підрозділи філії «Оператор ПСГ» АТ «Укртрансгаз». Група розробників програмних комплексів автоматизації оперативного управління здійснює їх супровід і постійно розширює їхній функціонал відповідно до потреб користувачів цих систем. Для підтримки прийняття рішень з диспетчерського керування в диспетчерських відділах та виробничих управліннях об'єднаної газотранспортної системи України (ОГСУ) було впроваджено програмний комплекс імітаційного моделювання технологічних процесів ПСГ.

На рівні керування технологічними процесами впроваджено автоматизовану систему диспетчерського керування (АСДК) на базі SCADA пакету ClearSCADA, що складається з територіально рознесених SCADA-серверів. При такому підході структура розподіленої системи подібна структурі самого об'єкта автоматизації. Функції збирання, обробки даних, керування та обчислення розподілені серед SCADA-серверів різних рівнів організаційної структури філії «Оператор ПСГ» АТ «Укртрансгаз». Кожен сервер є автономним, працює зі своєю групою об'єктів локального рівня автоматизації. На цьому рівні встановлені системи автоматизованого та автоматичного керування технологічними об'єктами ПСГ. Автоматика компресорних станцій включає систему автоматичного контролю (САК) ГПА та компресорних цехів, а також системи протипожежного захисту, контролю вібрації, енергозабезпечення, контролю загазованості, виявлення та гасіння пожеж. ПСГ оснащені системами запалювання газомотокомпресорів (ГМК), управління компресором, очищення газу, сушіння газу, регенерації діетиленгликолю (ДЕГ) ПСГ. Для контролю параметрів газових потоків у МГ, шлейфово-колекторних системах і в свердловинах ПСГ використовують прилади вимірювання тиску, температури. Останнім часом встановлюють накладні ультразву-

<sup>1</sup> MOF – Microsoft Operations Framework, ITIL – Information Technology Infrastructure Library.

кові системи для вимірювання швидкості потоку в трубопроводах.

На основі проведеного аналізу актуального стану автоматизації управління ГТС України слід зазначити, що сучасний стан автоматизації ГТС України є наслідком розрізної модернізації окремих об'єктів газотранспортної інфраструктури, окремих технологічних процесів та напрямків управління, яку проводили в останні десятиліття. В АТ «Укртрансгаз» створена інформаційна інфраструктура, яку використовують переважно для надання доступу до обчислювальних ресурсів та комунікаційних послуг, але доступ до повного переліку оперативних технологічних даних та дистанційне керування стримується низьким розвитком мережі передавання даних технологічного та польового рівня. Локальний рівень автоматизації ПСГ та ГТС укомплектований сучасними системами телемеханіки та автоматики та засобами вимірювання параметрів технологічних процесів вкрай недостатньо. Також слід зазначити, що 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. Тому попри високий рівень комп'ютеризації та розвинуто ко-

мунікаційну інфраструктуру, наявність потужних програмних комплексів оперативного управління та засобів автоматизації технологічних процесів, ефективність системи управління ГТС істотно стримується відсутністю достатньої автоматизації польового та локального рівня автоматизації, мережі передавання технологічних даних, автоматизованого обміну даними на вертикалі «керування технологічними процесами – стратегічне управління».

**Структура управління ГТС України.** В структурі управління ГТС відокремимо п'ять напрямків: управління інформаційними процесами (УІП), стратегічне управління бізнес-процесами (СУБП), управління транспортуванням газу (УТГ), управління підземним зберіганням газу (УПЗГ) та управління експлуатацією (УЕ) (рис. 1).

Управління інформаційними процесами відповідає за підтримання інформаційних потоків між підсистемами ГТС та процесами, які у ній циркулюють, обмін інформацією із зовнішніми джерелами, формування та підтримку баз даних і баз знань на основі інформації, отриманої із внутрішніх і зовнішніх джерел, надання інформаційних сервісів за запитами користувачів тощо. Інформаційні процеси забезпечують відбір та нагромадження даних про: параметри фізичних процесів, які протікають у газі ГТС, спорудах ГТС та до-

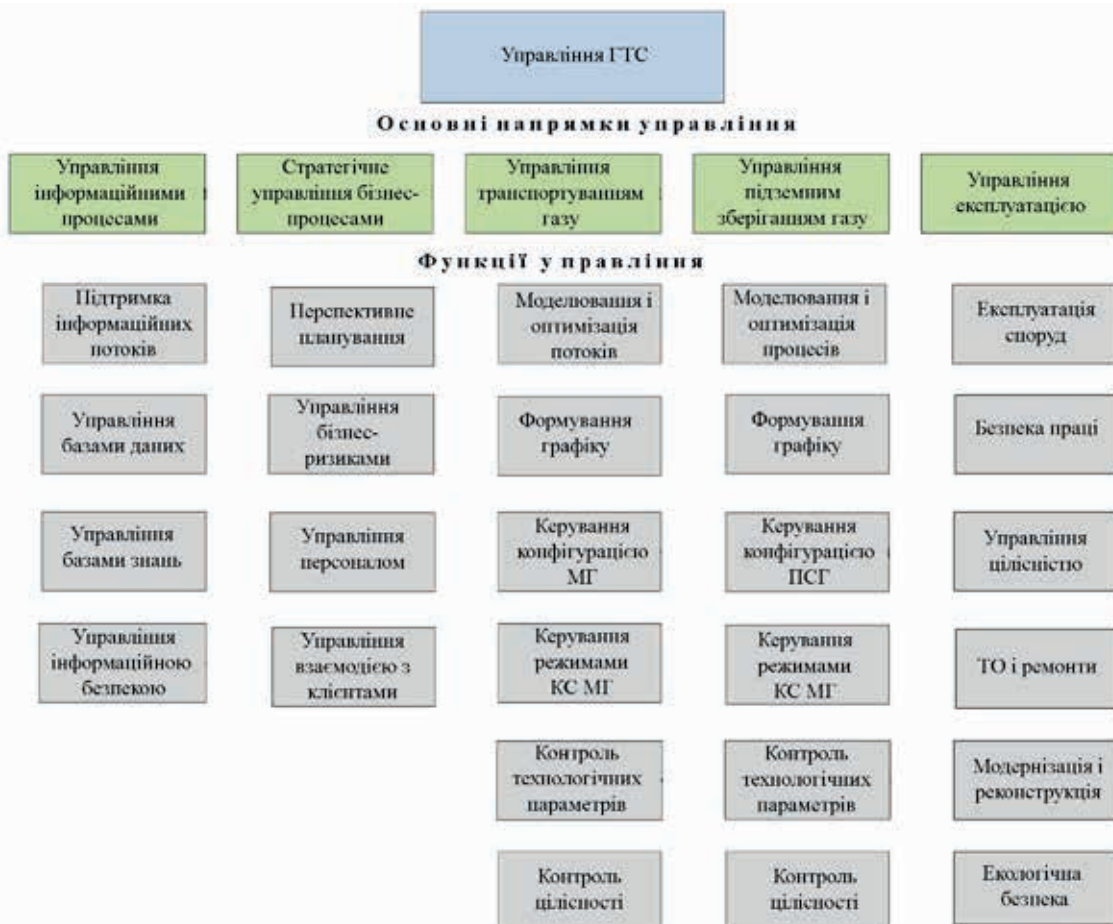


Рис. 1. Структура управління ГТС

вкіллі, стан технологічного устаткування, стан та тенденції розвитку виробничого та інтелектуального потенціалів, матеріальні та фінансові потоки, економічну ефективність роботи ГТС.

Управління бізнес-процесами має на меті: досягнення максимальної економічної ефективності роботи ГТС; точне виконання зобов'язань, взятих перед постачальниками і споживачами природного газу; розвиток інфраструктури ГТС відповідно до короткострокових і довгострокових прогнозів розвитку ринку газотранспортних послуг; мінімізацію екологічного та бізнес-ризиків

Результатом дії бізнес-процесів є формування завдань, планів та графіків, які використовують для управління транспортуванням і підземним зберіганням газу. Ці процеси цілком визначають роботу інформаційно-технічного комплексу (ІТК) ГТС: розподіл газових потоків в мережі; керування усім технологічним устаткуванням лінійної частини, компресорних станцій, ПСГ; проведення технічного обслуговування, аварійно-відновлювальних робіт, реконструкції тощо; керування технологічними і екологічними ризиками.

**Модель системи автоматизації управління ГТС.** Система автоматизації управління (САУ) ГТС – програмно-апаратний комплекс, складові якого діють на усіх рівнях управління – технологічному, оперативному та стратегічному (корпоративному) та пов'язані між собою горизонтальними і вертикальними інформаційними потоками (рис. 2).

САУ ГТС України доцільно створювати із застосуванням методології MES (Manufacturing Execution Systems), визначеної стандартом ANSI/ISA-952 [10-13], який базується на моделі функціональної ієрархії корпорації PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) [14]. Це дозволить використати під час реконструкції існуючу інфраструктуру автоматизації технологічних процесів і наявні засоби автоматизації управління на оперативному і стратегічному рівнях.

На рівні стратегічного управління можна використовувати готові програмні рішення, які здатні забезпечити усі чотири функції управління цього напрямку (рис. 1). Це, зокрема, системи, створені для управління крупними корпораціями і призначені для планування ресурсів підприємства ERP (Enterprise Resource Planning), автоматизовані системи взаємодії з клієнтами CRM (Customer Relationship Management) і управління персоналом HRM (Human Resources Management System) тощо (рис. 2).

На рівні оперативного управління MOM (Manufacturing Operations Management) діють три САУ (рис. 2), які забезпечують автоматизацію управління транспортуванням газу (САУ ТГ), його підземним зберіганням (САУ ПЗГ) та експлуата-

цією споруд ГТС (САУЕ). Кожна САУ оснащена інструментарієм, необхідним для автоматизації функцій управління відповідного напрямку (рис. 1).

Наприклад, САУ ТГ має у своєму складі математичне забезпечення для моделювання та оптимального керування режимами течії газу, оптимізації структури мережі, а також контролю параметрів потоків, цілісності МГ, балансування газу. Програмно-технічні засоби САУ ТГ забезпечують автоматизацію усіх шести функцій напрямку «Управління транспортуванням газу».

На другому рівні використовують інтелектуальні системи, призначені для оброблення даних, які надходять зі сенсорного шару першого рівня, та вироблення сигналів управління виконавчими пристроями цього рівня. Це програмовані логічні контролери PLC, розподілені системи автоматичного керування DCS (Distributed Control Systems), системи відбору даних та керування технологічними процесами SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) тощо.

Системи кожного рівня пов'язані комунікаційними мережами. На першому рівні діє мережа передавання сигналів і даних, а на другому – мережа автоматизації технологічних процесів. Ці два рівні пов'язані між собою каналами передавання даних, якими вони обмінюються: з першого на другий надходять дані про параметри процесів, отримані вимірювальними пристроями, а у зворотному напрямку передаються сигнали управління для виконавчих пристроїв першого рівня.

Дані, сформовані на другому рівні системами SCADA, DCS та іншими, передаються на рівень оперативного управління. Тут здійснюється консолідація даних нижніх рівнів і розміщення їх в інформаційній системі (ІС), яка містить бази даних об'єктів ГТС (БДО), режимів і конфігурацій (БДКіР), технологічної інформації (БДТІ), стратегічного управління (БДСУ) та репозиторії документів різних рівнів управління. До цих баз даних мають також доступ комп'ютеризовані системи,

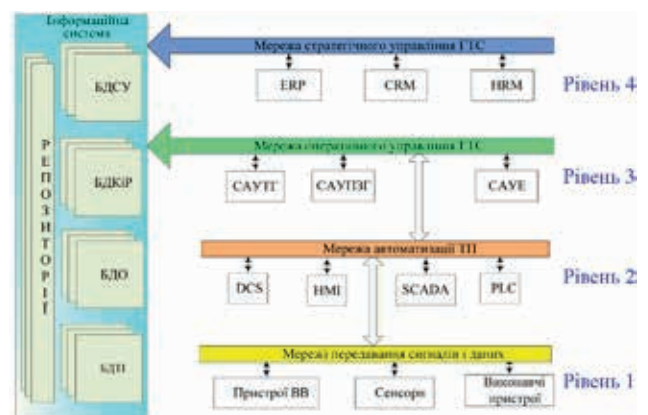


Рис. 2. Структура САУ ГТС

<sup>2</sup> Відповідний міжнародний стандарт, відомий як IEC 61512.

що діють на четвертому (корпоративному) рівні. В такий спосіб забезпечується інформаційна взаємодія засобів автоматизації управління третього і четвертого рівнів. Обмін інформацією в межах рівнів МОМ та стратегічного, як і з базами даних ІС відбувається за посередництвом мереж оперативного і стратегічного управління.

Запропонована структура САУ ГТС дозволить автоматизувати функції управління газотранспортною системою України на усіх напрямках та забезпечить безперервність інформаційних потоків на вертикалі «керування технологічними процесами – оперативне управління ГТС – управління бізнес-процесами» зі збереженням існуючих систем автоматизації технологічних процесів і засобів комп'ютеризації управління на корпоративному рівні.

#### **Модель системи моніторингу цілісності МГ.**

Сучасні підходи до організації безпечної експлуатації газотранспортних систем перебачать відхід від періодичної сертифікації технологічних об'єктів ГТС на користь безперервного управління їхнім технічним станом і цілісністю. З цією метою створюють системи управління цілісністю трубопроводів PIMS. Ключовими функціями PIMS є діагностика технічного стану об'єктів, виявлення загроз порушення їхньої цілісності, оцінювання ризиків, планування, розробка та реалізація заходів для запобігання подій, пов'язаних з порушенням цілісності технологічних об'єктів.

У статті [15] розглянуто модель структури програмно-технічного комплексу для управління ГТС і проведено аналіз функцій складових цього комплексу.

Відповідно до цього підходу в структурі управління ГТС (рис. 1) у напрямках УТГ та УПЗГ передбачені функції контролю цілісності МГ та ПСГ, а в напрямку УЕ – функція управління цілісністю ГТС. Відповідні підсистеми автоматизації цих функцій входять до складу САУТГ, САУПЗГ та САУЕ (рис. 2). У сукупності ці підсистеми формують систему автоматизації управління цілісністю ГТС (САУ ЦГТС).

Контроль цілісності як МГ, так і ПСГ можна звести до контролю технологічних об'єктів, що входять до їхнього складу. У моделі [16] МГ розглядається як лінійна структура секцій його лінійної частини (ЛЧ), довжина яких 120...150 км, послідовно з'єднаних через компресорні станції (КС). Відповідно до цього у запропонованому підході [16, 17] окремо розглядається контроль цілісності ЛЧ і компресорних станцій МГ.

Секція ЛЧ МГ являє собою нитку, зварену з окремих труб і покладену підземним чи надземним способом. До ЛЧ входять також кранові вузли, лупінги і відводи від основної магістралі, переходи через природні та штучні перешкоди тощо. Кранові вузли встановлюють на ЛЧ МГ на відстанях,

не менших 30 км. Крім того, їх розміщують з обох сторін переходів через природні і штучні перешкоди, на всіх відводах, на ділянках, прилеглих до КС, на відстані 500...700 м до кордонів їх території.

Виходячи із цього, у статті [16] модель секції ЛЧ МГ розглядається як лінійна структура, що складається із лінійних елементів (ЛЕ), пов'язаних вузловими елементами (ВЕ). ЛЕ – це відрізки труб, довжина яких набагато більша за їхній внутрішній діаметр. Рух газу в них описує система диференціальних рівнянь з частинними похідними, залежними від осової координати і часової змінної. Натомість ВЕ відповідають технологічним об'єктам ЛЧ МГ відносно невеликої довжини. Рух газу в таких елементах можна з достатньою точністю описати системою звичайних диференціальних рівнянь, залежних від часової змінної.

У працях [18, 19] розвинені математичні моделі динаміки газу в ЛЕ МГ, сформульовані крайові задачі для дослідження стаціонарних і перехідних режимів течії газу в таких елементах, розроблені чисельні методи розв'язування та поведені кількісні дослідження параметрів течії газу в МГ, які можна використати як інформативні для задач оптимізації і контролю цілісності ЛЧ МГ. На цій основі в праці [16] запропонована математична модель для контролю цілісності лінійних елементів ЛЧ МГ, а у статті [17] розвинено метод контролю цілісності ЛЕ ЛЧ МГ, що базується на цій моделі і даних моніторингу газодинамічних параметрів течії газу на входах і виходах ЛЕ секції. Подібний підхід відомий у літературі як RTTM (Real Time Transient Modeling) [20]. Однак деталі його реалізації у публікаціях не описані. Тому ми розробили власний математичний апарат і алгоритми реалізації методу контролю цілісності ЛЕ.

Для контролю цілісності ВЕ пропонується застосувати підхід, який базується на використанні явища акустичної емісії, що виникає за розгерметизації ВЕ. Запропонований метод контролю цілісності ВЕ шляхом аналізу сигналів декількох перетворювачів акустичної емісії (ПАЕ), встановлених на поверхні ВЕ. Аналізуючи сигнали ПАЕ, за цим методом можна визначити момент та місце розгерметизації. Реалізація цього методу описано, зокрема, в літературі [21–23]. Ми пропонуємо застосувати метод акустичної емісії також і для контролю цілісності підземних ділянок трубопроводу, на яких шляхом внутрішньо-трубної діагностики (чи іншим неруйнівним методом) виявлені дефекти тіла труби. Згідно з нормативними документами, якщо розміри виявлених дефектів не перевищують заданих допустимих значень, то дозволяється подальша експлуатація ділянки за умови здійснення посиленого контролю її цілісності.

Запропонований підхід для контролю цілісно-

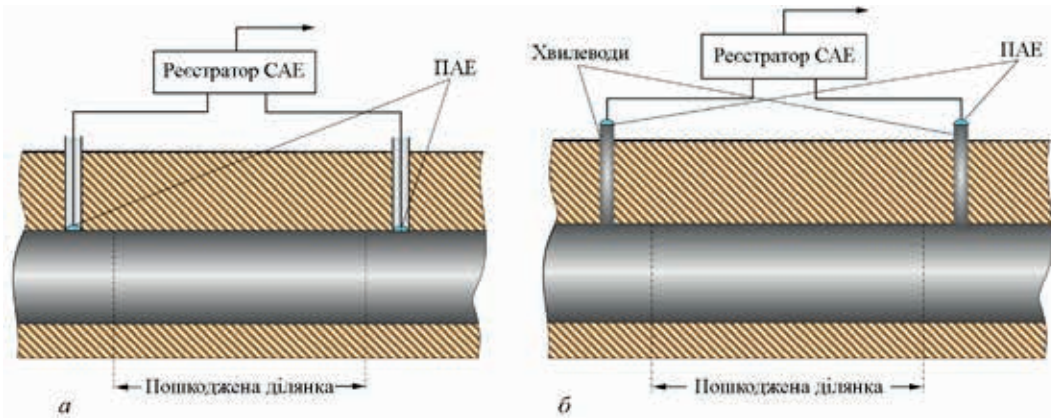


Рис. 3. Схеми відбору даних про параметри хвиль акустичної емісії на ділянках МГ з пошкодженнями тіла труби, виявленими методами внутрішньотрубною діагностики

сті такої ділянки за параметрами пружних хвиль, які виникають у стінці трубопроводу внаслідок витoku газу після утворення наскрізного дефекту. Для відбору інформативних параметрів за цим методом використовуються ПАЕ, сигнали яких містять інформацію про параметри хвильових процесів у тілі труби, спричинених акустичною емісією. На рис. 3. показані дві схеми відбору даних із використанням ПАЕ.

Система моніторингу цілісності секції ЛЧ включає в себе відповідні системи усіх її технологічних об'єктів, які представлені як лінійними, так і вузловими елементами.

На рис. 4 показана структура системи моніторингу цілісності технологічного об'єкта (ТО) ЛЧ (OIM – Object Integrity Monitorng). Така схема дозволяє зафіксувати момент виникнення витoku і визначити місце розгерметизації. Система OIM має у своєму складі комп'ютер керування CC (Control Computer), систему моніторингу інформативних параметрів IPM (Informative Parameters Monitoring), алгоритми контролю цілісності об'єкта (OICP – Object Integrity Checking Processes), базу даних об'єкта контролю ODB (Object Database), підсистему обміну даними (CS – Communication Subsystem), підсистему інформаційної безпеки (IS – Informational Security). Система IPM має у своєму складі первинні перетворювачі SD (Sensor Devise), засоби реєстрації даних DL (Data Logging) і оперативні бази даних об'єктів OODB (Object Operative Database). База даних ODB містить інформацію про параметри математичної моделі об'єкта (MMP), а також сховище да-

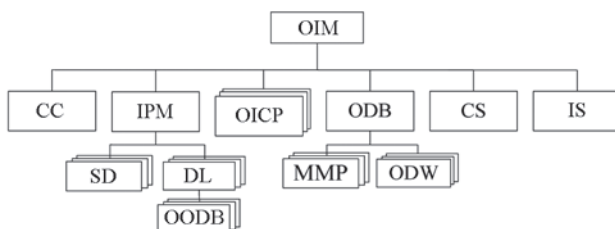


Рис. 4. Структура системи моніторингу цілісності технологічного об'єкта ЛЧ МГ

них моніторингу інформативних параметрів ODW (Object Data Warehouse).

Система контролю цілісності секції ЛЧ МГ являє собою сукупність систем контролю цілісності технологічних об'єктів цієї секції (усіх її лінійних і вузлових елементів, включно з ділянками, які містять пошкодження тіла труби).

Система моніторингу цілісності МГ містить у своєму складі системи цілісності усіх компресорних станцій і усіх секцій ЛЧ (рис. 5). Тут MPIM – це система моніторингу цілісності МГ, CC – головний комп'ютер, CSIM – система моніторингу цілісності КС, LPSIM – система моніторингу цілісності секцій ЛЧ, PIDB – база даних цілісності МГ, CS – підсистема комунікації, IS – підсистема інформаційної безпеки.

Апаратні комплекси OIM вузлових елементів розміщені на майданчиках відповідних об'єктів. Тут також розташовані апаратура OIM лінійних елементів, суміжних із відповідними BE. Обмін даними між різними OIM, а також між OIM і MPIM здійснюється з використанням каналів зв'язку штатної системи SCADA або спеціально створених каналів (наприклад, супутникового зв'язку).

**Концепція поетапної автоматизації управління ГТС України.** 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) [24], системи автоматизації різних рівнів управління, від технологічного до корпоративного, слід було б створювати з «нуля».

Проте застосування комплексного підходу до автоматизації ГТС України, що було б радикальним вирішенням проблеми, вимагає не тільки

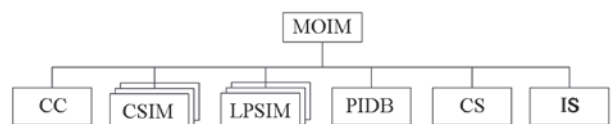


Рис. 5. Структура системи моніторингу цілісності МГ

докорінної модернізації усієї газотранспортної інфраструктури, але й запровадження цілком інших технологій менеджменту. Реалізація такого завдання для ГТС України на сучасному етапі вимагає занадто великих інвестицій як в розвиток інфраструктури, так і в інтелектуальний потенціал. Тому модернізацію управління ГТС доцільно здійснювати поетапно, зі збереженням вже існуючих засобів, шляхом автоматизації оперативного управління із використанням MES [10 –13]. З цієї метою був запропонований підхід [25], який передбачає поступове нарощування функціоналу автоматизованої системи управління ГТС (рис. 6).

Цей підхід 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 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.

Другий етап – запровадження автоматичного моніторингу технологічних параметрів і передавання їх на рівень оперативного управління. На



Рис. 6. Підхід до поетапної автоматизації управління ГТС України

цьому етапі запроваджується також автоматичне передавання команд і сигналів управління, які формуються на третьому рівні, на другий рівень, а сигналів і повідомлень підтвердження – з другого на третій рівень.

Наступний етап – створення та впровадження ІС, структура та функціонування якої узгоджується із методологією MES, моделлю PERA та процесною моделлю управління. Тут буде запроваджений автоматичний обмін даними між системою оперативного управління та спеціалізованими базами ІС. Система оперативного рівня розміщатиме в тематичних БД після попереднього оброблення дані моніторингу параметрів фізичних і технологічних процесів, дані про команди і сигнали керування, передані нею на технологічний рівень, а також про повідомлення і сигнали, отримані нею із цього рівня у відповідь.

Далі йде впровадження систем автоматизації корпоративного рівня, таких, як ERP, CRM, HRM тощо. Бізнес-логіка цих систем забезпечує формування інформації на основі даних ІС, зокрема тих, що надходять із технологічного й оперативного рівнів, і відображення її у відповідних форматах згідно запитів їхніх користувачів.

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, 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, третьому та четвертому рівнях, забезпечує автоматичне збереження у відповідних БД ІС даних щодо здійснених ними транзакцій, ведуть журнали аудиту і т.п. На цьому етапі запроваджується інформаційний обмін між четвертим та третім рівнем згідно методології MES (рис. 2) через відповідні тематичні бази даних ІС.

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. 6 обведений штриховою лінією) передбачає етапи з першого по третій, а другий (обведений на рис. 6 штрих-пунктирною лінією) – з третього по п'ятий. На початкових стадіях реалізації ці два процеси практично не взаємодіють. Тому за потреби/необхідності їх

можна реалізувати паралельно.

## Висновки

Розроблена концепція поетапної автоматизації управління ГТС України, яка базується на створенні згідно зі стандартом INSI/ISA-95 системи оперативного управління, що функціонує на принципах MES. Реалізація цієї концепції дозволить забезпечити автоматичний обмін даними на вертикалі «стратегічне управління – оперативне управління – керування технологічними процесами», а також у горизонтальних напрямках у межах кожного рівня управління. Це дозволить створити САУ ГТС України, що діятиме на усіх трьох рівнях і в усіх п'яти функціональних напрямках управління (інформаційні процеси, бізнес-процеси, транспортування газу, підземне зберігання газу, експлуатація об'єктів і споруд ГТС).

Невід'ємною складовою САУ ГТС є система управління цілісністю магістральних газопроводів, важливим елементом якої є система моніторингу цілісності. Вона включає в себе системи моніторингу цілісності КС і секцій ЛЧ, які, у свою чергу, складаються із систем моніторингу цілісності технологічних об'єктів, що входять до КС і секцій ЛЧ МГ. Розроблені методи контролю цілісності технологічних об'єктів ЛЧ МГ, які базуються на даних моніторингу параметрів потоків газу в контрольних точках, а також даних вимірювання параметрів хвиль акустичної емісії, спричинених розгерметизацією об'єкта чи стрибкоподібним підростанням дефекту в його тілі. Розроблено математичне забезпечення для реалізації розроблених методів на основі даних вимірювань.

Впровадження САУ дозволить підвищити ефективність роботи ГТС України за рахунок оптимального керування конфігурацією мережі та режимами транспортування і зберігання газу, автоматизації процесів взаємодії з клієнтами (споживачами послуг транспортування і зберігання газу), а також підвищити надійність системи за рахунок впровадження автоматизованої системи управління цілісністю.

Запропоновані підходи, математичні моделі, методи та алгоритми передані у відділ розробки систем оптимального планування та прогнозування режимів роботи ГТС Науково-дослідного інституту транспорту газу ПАТ «Укртрансгаз» для використання.

## Список літератури

- (2020) Оператор ГТС України. <https://tsoua.com>, last accessed 31.10.2020.
- (2020) План розвитку газотранспортної системи. Київ, ТзОВ «Оператор ГТС України». [https://tsoua.com/wp-content/uploads/gas-quality/files/TYN-DP\\_2020-2029\\_18-03-2020.pdf](https://tsoua.com/wp-content/uploads/gas-quality/files/TYN-DP_2020-2029_18-03-2020.pdf). Last accessed 31.10.2020.
- Бунько Т.В., Сафонов В.В., Стрежекуров Е.С., Мадчук З.М. (2018) Безпека дальнього транспорту газу. *Геотехнічна механіка*, **139**, 106–115.
- Правила безпечної експлуатації магістральних газопроводів. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0292-10#o37>, last accessed 2020/03/08.
- Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>, last accessed 2020/03/08.
- Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/956-2002-п>, last accessed 2020/03/08.
- Gabbar, H.A., Kishawy, H.A. (2011) Framework of pipeline integrity management. *Int. J. Process Systems Engineering*, **1**, 3/4, 215–236.
- Goodfellow, R., Jonsson, K. (2015) *Pipeline Integrity Management Systems (PIMS)*. In book *Oil and Gas Pipelines. Integrity and Safety Handbook*. Edited by R. Winstone Revie. Wiley, 3–12.
- Choi, B.K., Ki, B.H. (2002) MES(manufacturing execution system)architecture for FMS compatible to ERP (enterprise planning system). *Int. J. Computer integrated manufacturing*, **15**, 3, 274–284.
- Mora, R.G., Hopkins, P., Cote, E. I., Shie, T. (2016) *Pipeline Integrity Management Systems: A Practical Approach*. ASME Press, US.
- Meyer, H., Fuchs, F., Thiel, K. (2009) *Manufacturing Execution Systems Optimal Design, Planning, and Deployment*. Mc Graw Hill.
- (2018) API RP 1173/PSMS Pipeline Safety Management Systems.USA.
- Govindaraju, R., Lukman, K., Chandra, D. R. (2014) Manufacturing execution system design using ISA-95. *Advanced Materials Research*, **980**, 248–252 doi: 10.4028. <https://www.scientific.net/AMR.980.248>.
- Williams, T.J. (1994) The Purdue enterprise reference architecture. *Computers in industry*, **24** (2), 141–158.
- Чекурін В.Ф., Химко О.М. (2018) Моделювання функцій програмного комплексу для автоматизації управління газотранспортними системами. *Вчені записки Таврійського національного університету. Технічні науки*, **29** (68), 2, 192–197.
- Чекурін В.Ф., Химко О.Я. (2019) Математична модель для контролю цілісності лінійної частини магістрального газопроводу. *Там само*, **30** (69), 1, 158–164.
- Чекурін В.Ф., Пономарьов Ю.В., Химко О.М. (2019) Метод контролю цілісності лінійної частини магістрального газопроводу за даними моніторингу параметрів потоку. *Там само*, **30** (69), 2, 234–240.
- Chekurin, V., Khymko, O. (2019) Numerical modeling transient processes in a long gas pipeline. *Mathematical Modeling and Computing*, **6**, 2, 220–238.
- Чекурін В.Ф., Химко О. М. (2019) Перехідні процеси течії газу в трубопроводі, спричинені локальним витоком. *Мат. методи та фіз.-мех. поля*, **62**, 3, 143–158.
- Geiger, G. (2020) *State-of-the-Art in Leak Detection and Localization*, [https://www.researchgate.net/publication/290631637\\_State-of-the-art\\_in\\_leak\\_detection\\_and\\_localization](https://www.researchgate.net/publication/290631637_State-of-the-art_in_leak_detection_and_localization), last accessed 03.08.2020.
- ASTM E1211/E1211M–17 *Standard Practice for Leak Detection and Location Using Surface-Mounted Acoustic Emission Sensors*, <https://www.astm.org/Standards/E1211.htm>.
- Kourousis, D., Bolas, K., Anastasopoulos, A. (2020) *Acoustic emission leak detection of buried oil pipelines, river and road crossings*. [https://www.ndt.net/article/ecndt2010/reports/1\\_07\\_01.pdf](https://www.ndt.net/article/ecndt2010/reports/1_07_01.pdf), last accessed 03.08.2020
- Brunner, A., Barbezat, M. (2007) Acoustic emission leak testing of pipes for pressurized gas using active fiber composite elements as sensors. *Journal of Acoustic Emission*, **25**, 42–50.
- Totally Integrated Automation Portal. One integrated engineering framework for all automation tasks*. [https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure\\_tia\\_portal\\_en.pdf](https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure_tia_portal_en.pdf)



25. Chekurin, V., Ponomaryov, Yu., Prytula, M., Khymko, O. (2018) Development of an approach to automation of gas transmission system management. *Technology Audit and Production Reserves*, **5/1**(43), 52–60.

**References**

1. Operator of gas transmission system of Ukraine [in Ukrainian]. <https://tsoua.com>, last accessed 31.10.2020.
2. (2020) Plan for development of gas transmission system of Ukraine. Kyiv, LLC Operator of gas transmission system of Ukraine [in Ukrainian]. [https://tsoua.com/wp-content/uploads/gas-quality/files/TYNDP\\_2020-2029\\_18-03-2020.pdf](https://tsoua.com/wp-content/uploads/gas-quality/files/TYNDP_2020-2029_18-03-2020.pdf).
3. Bunko, T.V., Safonov, V.V., Strezhekurov, E.S., Matsuk, Z.M. (2018) Safety of long-distance gas transmission. *Geotekhnichna Mekhanika*, **139**, 106–115 [in Ukrainian].
4. Regulations of safe service of main gas pipelines. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0292-10#o37>.
5. *Law of Ukraine «On High-Risk Facilities»* [in Ukrainian]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>.
6. (2002) *On identification and declaration of safety of high-risk facilities* [in Ukrainian]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/956-2002-p>.
7. Gabbar, H.A., Kishawy, H.A. (2011) Framework of pipeline integrity management. *Int. J. Process Systems Engineering*, **1**(3/4), 215 – 236.
8. Goodfellow, R., Jonsson, K. (2015) *Pipeline Integrity Management Systems (PIMS)*. In book: *Oil and Gas Pipelines. Integrity and Safety Handbook*. Ed. by R. Winstone Review. Wiley, 3–12.
9. Choi, B.K. and Ki, B.H. (2002) MES (manufacturing execution system) architecture for FMS compatible to ERP (Enterprise Planning System). *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, **15**(3), 274–284.
10. Mora, R.G., Hopkins, P., Cote, E. I., Shie, T. (2016) *Pipeline Integrity Management Systems: A Practical Approach*. ASME Press, US.
11. Meyer, H., Fuchs, F., Thiel, K. (2009) *Manufacturing Execution Systems Optimal Design, Planning, and Deployment*. Mc Graw Hill.
12. (2018) *API RP 1173/PSMS: Pipeline Safety Management Systems, USA*.
13. Govindaraju, R., Lukman, K., Chandra, D. R. (2014) Manufacturing execution system design using ISA-95. *Adv. Ma-*

- terials Research*, Vol. **980**, 248-252. doi: 10.4028. <https://www.scientific.net/AMR.980.248>.
14. Williams, T.J. (1994) The Purdue enterprise reference architecture. *Computers in Industry*, **24** (2), 141–158.
15. Chekurin, V.F., Khymko, O.M. (2018) Modeling of functions of program complex for automation of gas-transport system control. In: *Scholarly notes of Tavria National University. Seriya: Tekhnichni Nauki*, **29**(68), 2, 192-197 [in Ukrainian].
16. Chekurin, V.F., Khymko, O.M. (2019) Mathematical model for control of linear part integrity of main gas pipeline. *Ibid.*, **30**(69), 1 (Pt1), 158-164 [in Ukrainian].
17. Chekurin, V.F., Ponomaryov, Yu.V., Khymko, O.M. (2019) Method of control of linear part integrity of main gas pipeline by data of monitoring of the flow parameters. *Ibid.* **30**(69), 2(Pt.1), 234-240 [in Ukrainian].
18. Chekurin V., Khymko O. (2019) Numerical modeling transient processes in a long gas pipeline. *Mathematical Modeling and Computing*, **6**(2), 220–238.
19. Chekurin, V.F., Khymko, O.M. (2019) Transient processes of gas flow in a pipeline caused by local leakage. *Mat. Metody ta Fiz.-Mekh. Polya*, **62**(3), 143-158 [in Ukrainian].
20. Geiger, G. State-of-the-art in leak detection and localization. [https://www.researchgate.net/publication/290631637\\_State-of-the-art\\_in\\_leak\\_detection\\_and\\_localization](https://www.researchgate.net/publication/290631637_State-of-the-art_in_leak_detection_and_localization).
21. ASTM E1211 / E1211M – 17 Standard Practice for Leak Detection and Location Using Surface-Mounted Acoustic Emission Sensors, <https://www.astm.org/Standards/E1211.htm>.
22. Kourousis, D., Bollas, K., Anastasopoulos, A. Acoustic emission leak detection of buried oil pipelines, river and road crossings, [https://www.ndt.net/article/ecndt2010/reports/1\\_07\\_01.pdf](https://www.ndt.net/article/ecndt2010/reports/1_07_01.pdf).
23. Brunner, A., Barbezat, M. (2007) Acoustic emission leak testing of pipes for pressurized gas using active fiber composite elements as sensors. *J. of Acoustic Emission*, **25**, 42–50.
24. Totally Integrated Automation Portal. One integrated engineering framework for all automation tasks. [https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure\\_tia\\_portal\\_en.pdf](https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure_tia_portal_en.pdf)
25. Chekurin, V., Ponomaryov, Yu., Prytula, M., Khymko, O. (2018) Development of an approach to automation of gas transmission system management. *Technology Audit and Production Reserves*, **5/1**(43), 52-60.

**AN APPROACH TO AUTOMATION OF MANAGEMENT OF GAS TRANSMISSION SYSTEM OF UKRAINE**

V.F. Chekurin<sup>1</sup>, Yu. V. Ponomaryov<sup>2</sup>, M.H. Prytula<sup>2</sup>, O.M. Khymko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics of NASU, 3-b, Naukova str., 79060, Lviv, Ukraine. E-mail: adm@iapmm.lviv.ua

<sup>2</sup>Research Institute for Gas Transportation of JSC «UKRTRANSGAS», 16 Koneva str., 61004, Kharkiv, Ukraine. E-mail: titarev-aa@utg.ua

<sup>3</sup> Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandera str., 79013, Lviv, Ukraine. E-mail: cofice@lpnu.ua

An approach to step-by-step automation of management of gas transmission system of Ukraine using the methodology defined by ANSI/ISA-95 standard and modern methodology for pipeline integrity management is considered in the paper. The approach assumes preservation and development of existing means for automation of technological processes, as well as already implemented software systems for modeling, planning, optimization and management of the main gas pipelines and underground gas storage facilities and formation on their basis of an automated operational management system that meets the requirements of this standard. According to the proposed approach, the implementation of the automated system is considered as a combination of two processes, each of which consists of three stages, performed iteratively. The first process includes creation of an operational management system, introduction of automatic monitoring of parameters of the technological and physical processes and formation of an information system as regards ensuring operational management and control of the technological processes. The second process includes formation of the information system for supporting the business processes, as well as introduction of an automated corporate governance system and of automatic monitoring of business processes.

*Key words:* Gas Transmission System, Automation of Management, Integrity Management of Main Gas Pipelines, MES

Надійшла до редакції 21.07.2020