

**ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Химко Ольги Мирославівни****«Математичні моделі, методи та алгоритми для автоматизації управління газотранспортними системами»**, представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

**Актуальність теми дисертації.** Газотранспортна система України, як важлива складова енергетичної безпеки України, є однією з найбільших в світі газотранспортних систем. Вона виконує дві основні функції: забезпечення природним газом внутрішніх споживачів, а також транзит природного газу через територію України. Природний газ відіграє ведучу роль в споживанні первинної енергії в Україні, його частка в енергобалансі становить майже 30%. Запровадження енергоефективного автоматизованого керування транспортуванням та зберіганням газу дозволить знизити витрати енергоресурсів та забезпечить надійність її функціонування. Газотранспортна система України є надскладним технологічним об'єктом який включає магістральні газопроводи (МГ), компресорні і газовимірювальні станції, підземні газосховища, розподільчі мережі тощо. Технологічні процеси в ГТС супроводжуються взаємопов'язаними процесами перенесення маси, імпульсу та енергії газовими потоками в трубопроводах і пористих пластах підземних сховищ газу (ПСГ), а також фізико-механічними процесами в технологічному обладнанні, пластах ПСГ тощо. За таких умов ефективна й безпечна експлуатація ГТС можлива лише за рахунок застосування автоматизації й комп'ютеризації всіх процесів, які визначають її функціонування. Для підвищення керованості ГТС і ефективності її експлуатації необхідно автоматизувати інформаційні та бізнес-процеси на стратегічному й оперативному рівнях із застосуванням математичного моделювання та комп'ютеризації.

Відсутність математичних моделей, методів і алгоритмів для розв'язування задач керування стаціонарними та перехідними режимами течії газу в магістральних газопроводах, виявлення та ідентифікації витоків, а також опрацювання основ автоматизації управління газотранспортними системами і визначення структури і функцій таких систем, створює **актуальну науково-прикладну проблему**, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота Химко Ольги Мирославівни «Математичні моделі, методи та алгоритми для автоматизації управління газотранспортними системами».

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами**

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалися згідно з планами наукової роботи кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Львівська політехніка» та Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України в рамках держбюджетних тем: «Моделювання процесів масопереносу в складних мережевих структурах для визначення оптимальних параметрів керування динамічними режимами» 0117U006866, 2016–2017 рр., «Математичне та комп'ютерне моделювання

зв'язаних процесів різної фізичної природи в об'єктах складної внутрішньої структури і топології та створення програмного забезпечення» 0117U006866, 2018 – 2020 рр. та низки госпдоговірних робіт.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі**

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Химко О. М. обґрунтовані коректним та доцільним використанням необхідного математичного апарату, успішною реалізацією програмно-технічної системи для автоматизації управління ГТС на основі розроблених математичних моделей, методів і алгоритмів для керування процесами транспортування газу, практичним впровадженням результатів дисертаційного дослідження, що продемонструвало відповідність теоретичних досліджень та реальних практичних результатів.

Методологія досліджень дисертаційної роботи ґрунтується на використанні: еталонної моделі PERA для опису архітектури корпорацій, стандартів ANSI/ISA-88 та ANSI/ISA-95, методології моделювання систем IDEF0, моделей газової динаміки, методів дискретизації систем рівнянь із частинними похідними, ітераційних методів розв'язування нелінійних систем звичайних диференціальних рівнянь, методів обчислювального експерименту.

Надані практичні рекомендації ґрунтуються на розроблених у дисертаційній роботі наукових положеннях.

### **Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій**

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується коректною постановкою проблеми, мети та задач дисертаційного дослідження, повнотою розгляду об'єкта дослідження та застосуванням методів, адекватних предмету дослідження.

Достовірність і обґрунтованість результатів базується на обґрунтованому використанні: фундаментальних фізичних принципів та перевірених підходів до опису процесів перенесення маси, імпульсу та енергії газовими сумішами; коректністю і строгістю математичних викладок і постановок задач газової динаміки; застосуванням відомих методів до розв'язування сформульованих задач; дослідженнями практичної збіжності алгоритмів розв'язування задач, узгодженням побудованих математичних моделей та отриманих результатів кількісних досліджень з фізичною суттю досліджуваних процесів; співпадінням у відповідних часткових випадках побудованих математичних моделей та отриманих результатів кількісних досліджень із відомими в літературі.

Достовірність результатів базується також на успішній апробації отриманих результатів на міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях та семінарах (в тому числі закордонних та таких, матеріали яких індексуються в наукометричній базі Scopus).

Достовірність теоретичних та практичних результатів підтверджується успішним тестуванням розроблених математичних моделей, методів і алгоритмів, проведеним спільно зі співробітниками НДІ транспорту газу ПАТ «Укртрансгаз» на діючій підсистемі магістрального газопроводу в процесі дослідного впровадження розробленої на основі результатів роботи методики

оперативного балансування маси газу в МГ.

### **Наукова новизна результатів досліджень та їх теоретичне значення**

В дисертаційній роботі отримані такі важливі наукові результати:

- розроблено дворівневу математичну модель структури ГТС, що враховує можливі зміни її конфігурації в процесі експлуатації та її розмірну гетерогенність
- розроблені нелінійні математичні моделі течії газу в технологічних об'єктах магістральних газопроводів;
- розроблену математичну модель поширення малих збурень параметрів потоку газу в трубопроводі, яка описує хвильові процеси, спричинені нестабільністю роботи компресорів, локальною розгерметизацією, флуктуаціями тиску, густини й температури;
- розроблені моделі керування перехідними процесами, що дає змогу визначити ефективність транспортування газу під час перехідних режимів, а також провести кількісні дослідження перехідних процесів течії газу в секції МГ за різних моделей керування;
- розроблені математичні моделі локального витoku із МГ, що дало змогу кількісно дослідити параметри течії, які можна використати для виявлення та ідентифікації витоків;
- запропонована концепція автоматизації управління ГТС України, визначені функції й розроблена структура програмної системи для автоматизації управління ГТС.

Наукові положення, сформульовані в дисертації, достатньо обґрунтовані. Кожен пункт наукової новизни підтверджений теоретичними та експериментальними дослідженнями.

### **Практичне значення результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Практичне значення результатів дисертаційної роботи Химко О. М. визначається тим, що розроблену в роботі дворівневу модель структури ГТС можна використовувати для оперативного керування активною конфігурацією ГТС у процесі її експлуатації. Це дасть змогу знизити затрати паливного газу, мінімізувати експлуатаційні навантаження на технологічне обладнання й негативний вплив на довкілля.

Розроблена модель динаміки газу в лінійних і вузлових елементах дала змогу розробити швидкі ітераційні алгоритми для числового моделювання течії газу МГ у реальному часі та дала змогу розв'язувати технологічні задачі керування стаціонарними й перехідними режимами роботи, виявлення й ідентифікації витоків, оперативного балансування маси газу в МГ тощо.

Розроблена математична модель поширення малих збурень тиску в потоці газу МГ і результати проведених із її використанням числових досліджень дають змогу проводити апріорні оцінки впливу випадкових флуктуацій на розмитість даних моніторингу параметрів течії в контрольних точках, а отже оцінювати чутливість і точність систем виявлення та ідентифікації витоків, які використовують ці дані.

Запропоновані інтегральні параметри течії газу в перехідних режимах дають змогу проводити кількісне оцінювання ефективності перехідного процесу за енергетичними та часовими параметрами. Застосовуючи розроблені швидкі алгоритми розв'язування крайових задач можна використати для керування перехідними режимами роботи МГ для досягнення заданої тривалості процесу чи заданих енергетичних показників транспортування за період перехідного процесу.

Запропоновані математичні моделі локального витоку й динаміки газу в МГ із витоком, а також розроблені швидкі алгоритми розв'язування крайових задач утворюють теоретичну основу для методу виявлення й ідентифікації параметрів витоків МГ.

Впровадження системи автоматизації управління ГТС, структура і функції якої запропоновані в роботі, дасть змогу на базі наявних засобів автоматизації, забезпечити автоматизований обмін інформацією. 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, дають змогу знизити втрати газу та ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

Впровадження системи автоматизованого управління дасть змогу підвищити ефективність роботи ГТС України за допомогою оптимального керування конфігурацією мережі та режимами транспортування і зберігання газу. Це створить передумови для переходу від функціональної до процесної моделі управління.

Практичну значущість результатів дисертаційного дослідження підтверджують результати впровадження. Розроблені в роботі підходи, математичні моделі, методи та алгоритми передані Філії «НДІ транспорту газу» АТ «Укртрансгаз» і застосовані в складі програмного комплексу, створеного у Відділі розробки систем оптимального планування і прогнозування режимів роботи ГТС, який використовується в диспетчерському управлінні.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, які містять 186 рисунків і 1 таблицю, висновків, а також списку літератури, що включає 177 найменувань, додатків. Обсяг основного тексту дисертації займає 305 сторінок, а повний обсяг роботи – 452 сторінки. Оформлена робота згідно чинних вимог.

*У вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовані мета й задачі дослідження, окреслені об'єкт, предмет та методи досліджень, визначена достовірність отриманих результатів, їхня наукова новизна і практичне значення. Наведено дані про впровадження результатів роботи, їхню апробацію, особистий внесок та публікації.

*У першому розділі* подано огляд літератури за темою дослідження, а також виконано аналіз ГТС України як об'єкта автоматизації.

У роботі газотранспортна система розглядається як логістична система, що поєднує інженерний комплекс, організаційну структуру, виробничий та інтелектуальний потенціали, матеріальні й фінансові ресурси в єдине ціле. Її

функціонування визначають бізнес-процеси, а також пов'язані із ними інформаційні, технологічні та фізичні процеси, різноманітні за своєю природою. Внаслідок протікання цих взаємозв'язаних процесів в межах системи і її взаємодії із довкіллям виникають потоки маси, енергії та імпульсу, а також інформаційні та фінансові потоки, переміщення виробничих та інтелектуальних ресурсів, що створює додаткову вартість.

Ефективна і безпечна експлуатація такої системи неможлива без автоматизації управління. Виокремлені такі напрямки управління ГТС: стратегічне управління бізнес процесами, управління інформаційними процесами управління транспортуванням газу, підземним зберіганням газу та експлуатацією споруд ГТС. Автоматизація кожного із цих напрямків управління потребує застосування специфічних підходів, методів та засобів, як технічних, так і програмних.

Розглянуто у роботі також сучасний стан автоматизації управління газотранспортною системою України, який сформувався внаслідок розрізної автоматизації окремих об'єктів газотранспортної інфраструктури, окремих технологічних процесів чи напрямків управління. Такий підхід не передбачає координації дій, спрямованих на автоматизацію різних об'єктів, як і забезпечення можливостей взаємодії між системами автоматизації цих об'єктів.

**У другому розділі** розглянуті математичні моделі, які описують структуру ГТС та процеси перенесення маси імпульсу та енергії в магістральних газопроводах. Складовою математично-алгоритмічного забезпечення системи автоматизації управління ГТС є модель її структури. Вона є основою для побудови моделей транспортування та зберігання газу, а також моделей керування поточкорозподілом. ГТС складається із технологічних об'єктів різного призначення. Течію газу через ці елементи описують рівняння динаміки газу, які включають у себе диференціальні рівняння перенесення маси, імпульсу та енергії, а також різні функціональні залежності, такі, як рівняння стану, функції, що визначають залежності фізичних властивостей газу від температури і тиску, тощо.

Для моделювання нестационарної течії газу в МГ вважали, що на вході та виході кожної КС здійснюється моніторинг тиску, температури та витрати (чи швидкості руху) газу. На основі цих даних можна розрахувати відповідні емпіричні функції, які визначають крайові умови для задач моделювання нестационарної течії газу в кожній секції.

Сформульовані також рівняння балансу маси та імпульсу газу для вузлових елементів та розглянута модель локального витоку, яка визначає об'ємні втрати маси, імпульсу та енергії потоку газу в трубі внаслідок його витікання через наскрізний отвір, який утворився в стінці труби.

Розроблені у розділі математичні моделі формують теоретичну основу і математичний апарат для технологічних задач керування потоками газу в МГ, таких як ідентифікація параметрів математичних моделей, чисельне моделювання, планування та оптимізація стаціонарних і перехідних режимів роботи МГ, балансування маси газу, виявлення витоків та контроль цілісності МГ, оптимізація структури ГТС тощо.

**У третьому розділі** розроблені ітераційні методи розв'язування задач моделювання процесів перенесення маси, імпульсу та енергії у МГ. У роботі

розглянуті усі можливі типи крайових умов і відповідно крайових задач моделювання перехідних процесів. Керування режимами роботи МГ відбувається шляхом зміни режимів роботи КС. Таким чином, існує взаємозв'язок між режимами роботи компресорної станції з одного боку і параметрами газового потоку (масовий потік, тиск, температура) газу на вході і виході компресорної станції. В рамках запропонованих математичних моделей перехідний процес МГ із одного стаціонарного режиму у інший стаціонарний режим визначають три внутрішні функції – густини, густина масового потоку та температури. Їх можна встановити, розв'язавши відповідну задачу, яку називаємо моделлю керування перехідним процесом із одного у інший стаціонарний режим. Алгоритм керування перехідним процесом визначається вибором моделі керування та конкретних значень параметрів керування, властивих для цієї моделі.

У розділі проведено дослідження трьох моделей керування перехідними процесами за ізотермічного наближення. Кожній моделі відповідає певна крайова задача для рівнянь динаміки газу у довгому трубопроводі. У першій моделі керування перехідним процесом здійснюється шляхом контрольованої зміни густини на вході та виході трубопроводу. У другій моделі на вході контролюється зміна в часі густин, а на виході – густина масового потоку. У третій моделі керування перехідним процесом здійснюється шляхом зміни в часі густини потоку маси на вході та густини на виході.

Дослідження перехідних процесів для різних моделей управління проведено з використанням моделі функцій керування. Приведені результати проведених числових експериментів можна використати для керування параметрами перехідного процесу, такими як його тривалість, питома механічна робота, затрачена на відбір газу із ГТС тощо.

**Четвертий розділ** присвячений математичному моделюванню малих збурень потоку газу. У потоці газу в трубі МГ, як у стаціонарних, так нестаціонарних режимах їх експлуатації можуть виникати малі збурення тиску та витрати. Їх зумовлюють нестабільності роботи компресорів, локальні варіації гідравлічного опору, теплові флуктуації тощо.

У роботі наведена розроблена математична модель поширення малих збурень в потоці газу трубопроводу. В рамках моделі сформульована задача визначення хвильового поля збурення, спричиненого локальною флуктуацією тиску та розроблена методика її чисельного розв'язування із використанням методу скінченних різниць. Проведені дослідження хвильового поля залежно від місця виникнення флуктуації та режиму течії.

У процесі проведення числових експериментів встановлено, що імпульси збурення досить швидко загасають. Швидкість загасання імпульсів зростає із наближенням місця виникнення флуктуації до виходу трубопроводу. За режимів, близьких до критичного, картина хвильового поля збурення сильно залежить від місця виникнення флуктуації. Якщо флуктуація виникає поблизу входу трубопроводу чи в його центральній частині (далеко від виходу), то чітко спостерігаються два імпульси, що рухаються, загасаючи на своєму шляху, в протилежних напрямках із різними груповими швидкостями. Якщо ж флуктуація виникає достатньо близько до виходу, то картина поля «розмивається» і більше нагадує не хвильовий, а дифузійний процес.

Технічні засоби виявлення витоків є досить затратними і тому запропоновані у роботі алгоритмічні методи можна використати для виявлення витоків, які базуються на реєстрації хвиль тиску, які виникають у трубопроводі за раптової локальної розгерметизації.

*У н'ятому розділі* приведені розроблені математичні моделі та методи для контролю цілісності лінійної частини магістрального газопроводу. Неконтрольована розгерметизація трубопроводу створює аварійно-небезпечні ситуації, екологічні загрози і може призводити до значних економічних втрат. Проблема виявлення витоків природного газу з магістральних газопроводів є актуальна для України, оскільки методи і засоби контролю, які застосовують у газовій галузі, не задовольняють сучасні вимоги.

В рамках моделі динаміки газу розроблений метод для виявлення витоків, визначення їхньої інтенсивності та місця розгерметизації МГ за стаціонарних режимів експлуатації на основі даних вимірювання тиску на вході і виході та у контрольних точках вздовж траси. Отримані критерії цілісності МГ за нестаціонарних режимів роботи. На цій основі запропоновано метод неперервного контролю цілісності МГ, виходячи із даних моніторингу значень тиску і температури газу на входах і виходах усіх вузлових елементів.

Розроблено метод контролю цілісності вузлових елементів за нестаціонарних режимів роботи МГ, який базується на аналізі параметрів хвиль акустичної емісії, спричинених витокком газу через наскрізний отвір в стінці трубопроводу. Інформативними параметрами для нього є сигнали акустичної емісії, отримані від п'єзоелектричних перетворювачів, встановлених на поверхні об'єкта контролю. Запропонована структура системи контролю цілісності МГ і її складових.

*У шостому розділі* наведені побудовані формалізовані моделі для опису бізнес процесів транспортування і зберігання газу використанням методології IDEF0; проведено аналіз функцій управління ГТС як специфічної логістичної системи, яка на стратегічному рівні має ознаки, притаманні дискретним виробництвам, а на інших рівнях – неперервним, що дозволило розробити модель управління ГТС в рамках концепції MES систем, базуючись на моделі функціональної ієрархії PERA; запропонована структура програмно-апаратного комплексу для автоматизації управління ГТС та визначені функції програмно-технічних систем, які використовуються на різних рівнях управління, математично-алгоритмічне забезпечення для цих систем; розроблена концепція поетапної модернізації ГТС України, яка базується на створенні, згідно зі стандартом ANSI/ISA-95, автоматизованої системи оперативного управління, що функціонує на принципах MES.

*Висновки по роботі* відповідають поставленій меті та задачам досліджень, відрізняються конкретністю викладання, повністю висвітлюють отримані в роботі результати та відповідають вимогам, які висуваються до висновків в дисертаціях на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

*Список використаних джерел* достатньо повно охоплює предметну галузь. Варто відзначити сучасність джерел, на які посилається дисертантка, а також велику кількість процитованих іноземних джерел.

*Додатки* містять результати застосування розроблених математичних моделей методів і алгоритмів для контролю балансу газу та документи про використання результатів досліджень.

**Стиль, оформлення дисертації, автореферату. Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій у публікаціях та відповідність спеціальності**

Дисертаційна робота Химко О.М. подана з використанням формально-логічного способу викладення матеріалу. Для відображення логічних зв'язків автор використовує причинно-наслідкові відношення, що вказують на послідовність розвитку дослідження. Всі частини роботи взаємоузгоджені, а її структура є логічною. Дисертація викладена з використанням сучасної науково-технічної термінології. Ілюстрації, схеми, таблиці в достатній мірі доповнюють текстовий матеріал. В цілому дисертаційна робота оформлена у відповідності до вимог «Порядку присудження наукових ступенів» щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Автореферат дисертації оформлений відповідно до чинних вимог, містить всі необхідні елементи, які повністю відображають основні структурні частини дисертації, в ньому викладено основну суть здійснених наукових досліджень, наведено основні результати, приведені висновки та список основних публікацій автора. Матеріал викладено в науковому стилі, логічно та послідовно. Зміст автореферату є ідентичним основному змісту дисертації та опублікованим роботам.

Наукові праці, які опубліковано за темою дисертації, містять основні наукові положення, результати теоретичних та експериментальних досліджень, висновки та рекомендації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 34 наукові праці, з яких два розділи в закордонних монографіях, 18 статей – у фахових виданнях України, одна стаття – у науковому періодичному виданні держави, що входить до Європейського союзу, два патенти України, 8 публікацій – у збірниках праць і тезах міжнародних конференцій; п'ять публікацій реферовані в базі SCOPUS.

Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано. Основні наукові результати дисертаційної роботи були представлені на 3-й Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» CSIT 2008. Львів, 2008; IV Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика 2015» (м. Івано-Франківськ 21–24 квітня 2015 року); XIV Міжнародній конференції з автоматичного управління АВТОМАТИКА – 2017 (Київ 13–15 вересня 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання» (м. Івано-Франківськ 15–20 травня 2017 року.); XXII та XXIII Міжнародних наукових конференціях «Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)», Дніпро, 2017, Тбілісі, 2018; Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми механіки та математики» (м. Львів 22–25 травня 2018 р.); V науково-технічній конференції «Обчислювальні методи і системи перетворення інформації», (м. Львів 4–5 жовтня 2018р.); науково-технічному семінарі «Сучасні технології неруйнівного контролю та їх застосування в промисловості»



(м. Київ 21–22 листопада 2018); 10-й Міжнародній науковій конференції «Математичні проблеми механіки неоднорідних структур», (м. Львів 17–19 вересня 2019 р.); 8-й Міжнародній науково-технічній конференції – Інформаційні системи та технології. ICT-2019 (м. Коблеве- м. Харків 9–14 вересня 2019); міжнародному семінарі NATO Workshop «Development of novel methods for the prevention of pipeline failures with security implications» (Lviv, October 26–27, 2020).

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування, так як спрямована на розроблення концепції автоматизації для управління газотранспортними системами, розроблення математичних моделей, методів і алгоритмів для розв'язування задач керування стаціонарними та перехідними режимами течії газу в МГ та задач виявлення і ідентифікації витоків газу.

#### **До недоліків та зауважень дисертаційної роботи можна піднести:**

1. У першому розділі дисертаційної роботи доцільно детальніше розглянути проблеми, які виникають у сучасних ринкових умовах в управлінні технологічними та бізнес процесами газотранспортної системи України та існуючого стану автоматизації процесів керування.

2. Також в першому розділі варто було б навести конкретні приклади інформаційної несумісності сучасного інформаційного забезпечення в газотранспортній системі, а також провести аналіз існуючих систем автоматики та оцінити ефективність їхньої експлуатації.

3. В п.3.4 «Чисельне дослідження процесів керування перехідними режимами» доцільно було б підтвердити отримані розрахункові дані експериментальними.

4. Розділи 3 і 5 суттєво б виграли, якби в них була розглянута можливість синтезу математичних алгоритмічних методів формування параметрів керування для забезпечення ефективного використання існуючих АСУ технологічними процесами.

5. У шостому розділі корисно зробити спробу класифікації етапів розроблення та впровадження систем автоматизації процесів керування в газотранспортній системі за критерієм – затрати-економічний ефект.

6. Для оцінювання ефективності управління ГТС в інформаційну модель (рис.6.16) та взаємодію інформаційних процесів у системі управління (6.17) слід було доповнити часовими та кількісними параметрами інформаційних потоків.

7. В науковій новизні доцільно чітко виділити, що було зроблено вперше, що удосконалено та що отримало подальший розвиток.

Наведені зауваження не знижують наукову та практичну цінність дисертації і є швидше побажаннями на майбутнє продовження роботи.

#### **Загальні висновки**

Дисертаційна робота Химко О.М. «Математичні моделі, методи та алгоритми для автоматизації управління газотранспортними системами», може бути охарактеризована як завершена науково-дослідна робота, яка може бути кваліфікована як перспективний науковий напрямок, містить нові наукові

результати, що в комплексі вирішують важливу науково-прикладну проблему розроблення концепції побудови програмно-технічної системи для автоматизації управління ГТС на основі розроблених математичних моделей, методів і алгоритмів для керування процесами транспортування газу магістральними газопроводами.

За актуальністю, науковою новизною отриманих результатів, їх достовірністю та практичною значимістю робота відповідає вимогам МОН України та пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», які ставляться до робіт на здобуття доктора технічних наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., а її автор Химко Ольга Мирославівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Офіційний опонент,  
професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Української академії друкарства,  
доктор технічних наук, професор



О.В. Тимченко

Підпис д.т.н., проф. Тимченка О.В. засвідчую  
Вчений секретар УАД,  
к.т.н., доцент



З.М. Сельменська

