

622.691.4(093)
В 67

Міністерство освіти у науки України
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

ВОЛИНСЬКИЙ ДМИТРО АНДРІЙОВИЧ



УДК 622.691.4

**ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ У
СКЛАДНИХ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ ВЕЛИКОЇ
ПРОТЯЖНОСТІ**

05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м. Івано-Франківськ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Тимків Дмитро Федорович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри інформатики.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, **Банахевич Юрій Володимирович,**
ПАТ «Укртрансгаз» (м. Київ),
начальник відділу експлуатації лінійної частини магістральних газопроводів Департаменту транспортування газу;

кандидат технічних наук, **Фейчук Віталій Васильович,**
Спільне українсько-канадське підприємство
«Коломийська нафтогазова компанія «Дельта»,
головний інженер.

Захист відбудеться 31 травня 2016 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий « 29 » квітня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04
к.т.н., доцент

Л. Д. Пилипів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогодні Україна є одним із найбільших транзитерів природного газу. Її географічне розташування між основними газовидобувними регіонами Російської Федерації та Середньої Азії та країнами Європейського Союзу, які демонструють значні обсяги споживання цього ресурсу, та наявна потужна система транзитних газопроводів, з'єднаних із магістральними газопроводами всіх сусідніх держав, також наявність величезного комплексу підземних сховищ газу, дозволяють бути ключовим гравцем у бізнесі блакитного палива. Завдяки розгалуженій мережі газопроводів Україна здійснює транзит російського природного газу до 18 країн Європи.

Оскільки трубопроводи є найзручнішим і найбезпечнішим способом транспортування природного газу, то для них вимоги безперебійної роботи є надзвичайно важливі, оскільки постачання газу здійснюється у великому об'ємі на значні відстані. Характерною особливістю магістральних газопроводів є неусталений процес руху газу. Його тиск і витрата змінюються по довжині трубопроводу й у часі в результаті нерівномірного споживання та відбору, включення та виключення компресорних станцій, перекриття запірної арматури, появи аварійних витоків газу тощо.

Основна функція системи газопостачання – це забезпечення споживача природним газом згідно заздалегідь визначеного графіку постачань. Складність даного завдання полягає в тому, що графік постачань нерівномірний у часі, тоді як сама газотранспортна система (ГТС) є досить протяжною і час її реакції на зміни, що відбуваються, майже завжди набагато більший, ніж періодичність цих змін.

Однак, через велику протяжність та інерційність ГТС має великі внутрішні резерви, які можна вміло використовувати, заощаджуючи при цьому ресурси.

Інше завдання забезпечення надійності безпосередньо пов'язане з виникненням нештатних ситуацій. Наприклад, припинення відбору газу споживачем або аварія на лінійній ділянці газопроводу.

Варто зауважити, що проблема старіння газопроводів і компресорних станцій набуває все більшого значення з кожним роком, у результаті чого можливе значне скорочення транспортування природного газу державною мережею трубопроводів. Тому, беручи до уваги вище сказане, підвищення ефективності роботи ГТС України є першочерговим завданням у рамках її модернізації та переоснащення згідно з національною концепцією.

Деякі заходи впроваджено в експлуатацію газотранспортної системи України. Одними з найбільш важливих компонентів цих заходів є прогнозування нестационарних процесів, які можуть спричинити нештатні або аварійні режими роботи ГТС.

Забезпечення надійної експлуатації магістральних газопроводів є однією з найважливіших загальнодержавних задач, оскільки аварії трубопроводів можуть спричинити величезні економічні й екологічні збитки народному господарству.

Комплексність державної газотранспортної мережі висуває додаткові вимоги до умов її експлуатації. Безвідмовна робота газопроводу в заданому гідравлічному режимі потребує узгодженості всіх елементів мережі, особливо, при виникненні тієї

чи іншої нештатної ситуації. Різке збільшення чи зменшення відбору газу зумовлює неусталеність його течії трубопроводом; до аналогічних наслідків призводить зменшення або збільшення підкачування газу, раптове включення чи виключення компресорних станцій.

Перехідні режими роботи магістрального трубопроводу супроводжуються зміною основних його параметрів, зокрема, тиску, що призводить до порушення нормальної роботи всієї системи.

Значна частина газопроводів працює при неізотермічній течії газу і це також необхідно враховувати при виборі режиму експлуатації газопроводу.

Газотранспортний комплекс ПАТ «Укртрансгаз» є унікальним, адже виконує не лише транспортну функцію, а й газозбірну та газорозподільну. Тому при оптимізації його роботи необхідно враховувати багато факторів, які, в свою чергу, призводять до зміни режимів транспортування газу. Багато з них можуть спричинити аварійні ситуації. Тому проблему прогнозування нестационарних процесів, викликаних будь-якими нештатними ситуаціями, й оптимізації режимів роботи газотранспортних магістралей України слід вважати однією з першочергових задач, оскільки вони нерозривно пов'язані з підвищенням надійності ГТС.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота носить науково-прикладний характер і входить у комплекс тематичних планів НАК “Нафтогаз України”, спрямованих на підвищення надійності експлуатації та ефективності газотранспортного комплексу і окреслених Національною програмою «Концепція розвитку, модернізації і переснащення газотранспортної системи України на 2009 – 2015 рр.».

Мета і задачі дослідження. Дослідження характеру неусталених газодинамічних процесів у складних системах магістральних газопроводів на основі математичного моделювання з удосконаленням новітніх схем реалізації моделей і розробка рекомендацій щодо покращення умов функціонування складних ГТС.

Вказана мета досягається реалізацією наступних завдань:

1. Виконати аналітичні дослідження термогазодинамічних процесів у складних газотранспортних системах великої протяжності та встановити закономірності розподілу параметрів потоку природного газу.

2. Дослідити та проаналізувати нестационарні режими руху газу у складних ГТС при різних режимах її роботи.

3. Розробити метод для підвищення точності розрахунків при математичному моделюванні роботи складних магістральних газопроводів.

4. Удосконалити методологію керування режимами роботи газотранспортних систем при нештатних ситуаціях.

Об'єкт дослідження. Складні системи газотранспортних магістралей великої протяжності.

Предмет дослідження. Стационарні та нестационарні неізотермічні процеси в газотранспортних системах.

Методи дослідження. В роботі використано методи математичного моделювання нестационарних процесів у магістральних газопроводах, інтегральні перетворення, теорію узагальнюючих функцій, кінцево-різницьві методи, згладжування та диференціювання диспетчерських даних, агрегативно-імітаційний

метод. Для отримання числових результатів досліджень застосовувались сучасні комп'ютерні технології.

Положення, що виносяться на захист – конкретизація закономірностей протікання нестационарних процесів у складних газотранспортних системах, пов'язаних із виникненням нештатних та аварійних ситуацій.

Наукова новизна полягає в оптимальному керуванні режимами роботи складної газотранспортної системи на базі комплексних теоретичних і експериментальних досліджень, які проводились вперше:

1. Запропоновано для використання при математичному моделюванні нестационарних процесів у магістральних газопроводах нову кінцево-різницеву схему, що дозволяє отримати більш точні та згладжені результати по довжині трубопроводу і, відповідно, більш адекватно реагувати на перехідні процеси у системі.

2. Конкретизовано закономірності протікання нестационарних режимів роботи складної газотранспортної системи з урахуванням відборів і підкачок газу, а також при аварійній зупинці лінійної ділянки магістрального трубопроводу.

3. Розроблено методику моделювання неусталених режимів руху газу в газопроводі з урахуванням запропонованої кінцево-різницевої схеми та сучасних рівнянь для визначення термодинамічних властивостей природного газу.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична значимість проведених наукових і експериментальних досліджень полягає в удосконаленні методів математичного моделювання та, відповідно, керування складними ГТС при можливих нештатних ситуаціях чи аваріях. Досліджено характер перехідних процесів при зупинці лінійної ділянки газопроводу внаслідок аварії, при появі шляхових відборів і зміні їх величини. Дана методика реалізована в алгоритмі («Розрахунок нестационарного режиму трубопроводу») і програмі («Прогнозування нестационарності»), які впроваджені на підприємствах ПАТ «Укртрансгаз».

Особистий внесок здобувача:

1. Здійснено порівняльний аналіз щодо точності визначення густини природного газу та його термодинамічних властивостей за основними відомими рівняннями стану. Відзначено важливість врахування компонентного складу транспортованого газу при надвисоких тисках [1, 2, 6, 7].

2. Проаналізовано та встановлено, що стан внутрішньої поверхні трубопроводу значно впливає на характер нестационарних процесів у газопроводах. Проте, оскільки його фізичне моделювання не є ефективним, тому запропоновано за допомогою математичного моделювання термогазодинамічних процесів проводити статистичну ідентифікацію похибки визначених параметрів тиску та витрати в процесі експлуатації газопроводу для ефективного контролю за станом його внутрішньої поверхні [3].

3. Досліджено закономірності протікання нестационарних процесів у протяжних газопроводах, викликаних різними непроектованими режимами роботи чи аваріями. За результатами зроблено рекомендації щодо їх експлуатації у таких випадках. Виявлено значний вплив місця розташування витоку чи відбору газу на період його виявлення та на швидкість зміни режиму руху газу в трубопроводі [4, 9].

4. За результатами проведених досліджень різних режимів роботи магістральних газопроводів створено математичні моделі та запропоновано методи й алгоритми їх реалізації [5, 8].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися:

- на Міжнародній конференції «Drilling-Oil-Gas. Future of oil and gas industry» (Жраків, 2015);

- на Міжнародній науково-технічній конференції «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта» (Новополюцк, 2014);

- на Міжнародній учeбно-науково-практичeскої конференції «Трубопроводный транспорт-2013» (Уфа, 2013);

- на Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика 2013» (Івано-Франківськ, 2013);

- на науковому семінарі кафедри спорудження та ремонту нафтогазопроводів і нафтогазосховищ (Івано-Франківськ, 2015);

- на розширеному семінарі за спеціальністю 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища (Івано-Франківськ, 2015).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 9 друкованих робіт; із них 5 у фахових виданнях, 2 статті одноосібні та 1 у іноземному виданні.

Обсяг роботи. Дисертація містить вступ, 4 розділи, підсумкові висновки, перелік використаних джерел, що складається зі 106 найменувань. 11 таблиць, 15 рисунків і додатків. Основний зміст роботи викладено на 136 сторінках тексту.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дано загальну характеристику роботи, показано актуальність теми, її зв'язок із науковими програмами, планами, вказано мету та задачі досліджень, їх наукову новизну, особистий внесок здобувача та структуру дисертації.

В першому розділі зроблено аналіз літературних джерел і конкретизовано завдання досліджень, а також подана характеристика газотранспортної системи.

Сьогодні Україна є найбільшим транзитером природного газу. Завдяки своїй розгалуженій мережі газопроводів Україна здійснює транзит природного газу до 18 країн Європи. Пропускна здатність магістральних газопроводів нашої держави на «вході» становить 287,7 млрд. м³/рік, а на «виході» – 178,5 млрд. м³/рік.

Основною функцією ГТС України є надійне забезпечення газом внутрішніх споживачів і безперервний транзит природного газу до споживачів із країн Європи.

Складність даного завдання полягає в тому, що графік поставок нерівномірний у часі, тоді як сама газотранспортна система є досить протяжною і час її реакції на зміни, що вносяться, майже завжди набагато більший, ніж періодичність цих змін, тому транспортна система працює в нестационарному режимі.

Основними параметрами, що визначають надійність функціонування ГТС, є максимальний і мінімальний тиск у трубопроводі, мінімальна та максимальна температура газу, запас газу в трубопроводі.

Забезпечення надійності та безпеки функціонування безпосередньо залежить від правильності вирішення ряду технологічних завдань, які вирішуються шляхом моделювання параметрів потоку і пов'язані з математичними постановками задач для системи диференціальних рівнянь.

Коливання значень споживання, а також некоректна чи несвочасна робота запірної арматури, компресорів і регуляторів тиску чи будь-якого іншого обладнання газопроводів, спричиняють порушення режиму в трубопроводі.

Очевидно, що аналіз нестационарних режимів пов'язаний із залежністю змінних від часу та простору, на відміну від стаціонарних, де змінні залежать тільки від простору. Дослідження багатьох нестационарних явищ дає змогу операторам контролювати зміни параметрів руху газу, його тиску, температури та витрати, забезпечуючи надійну та безперебійну роботу газотранспортної системи.

Для моделювання одновимірних нестационарних потоків у газопроводах необхідно одночасно розв'язувати рівняння нерозривності, імпульсу й енергії. Це створює систему нелінійних рівнянь із частковими похідними, які досить складні та громіздкі. Сьогодні існує чимало традиційних числових методів для симуляції одновимірного нестационарного потоку, серед них метод характеристик, явні і неявні кінцево-різницеві схеми, метод кінцевих об'ємів й ін. Даним питанням займався ряд вітчизняних вчених, таких як В. Я. Грудз, С. Т. Щербаков, Є. І. Яковлев, Е. Л. Вольський, а також зарубіжні Х. Паскаль, П. М. Дранчук, В. Л. Стрітер, А. Ошядач та ін.

Моделювання нестационарних потоків у трубопроводах вимагає застосування рівнянь стану газу. Сьогодні американськими та європейськими операторами широко застосовуються рівняння стану AGA-8 і SGERG-88. В інженерній практиці часто використовується метод грубої характеристики газової суміші, оскільки повний аналіз складу природного газу не завжди є доступним.

Згідно з висновками деяких наукових шкіл на параметри потоку чи завантаженість трубопроводу вибір рівняння стану практично не впливає. Проте форма рівняння стану може бути важливою в системах визначення місця витoku, які базуються на методах об'ємного балансу.

Сьогодні в світі дослідниками досить багато уваги приділяється саме пошуку методів найоптимальнішого розрахунку нестационарних потоків у газопроводах. Більше того, оскільки всі моделі нестационарного потоку – ізотермічні чи неізотермічні – базуються на обчисленні громіздких і складних диференціальних рівнянь із частковими похідними, автори демонструють різні числові методи їх обчислення, порівнюють їх та обирають найзручніші.

У працях розглядаються методи для числового розв'язку диференціальних рівнянь нестационарного потоку газу, а саме: метод характеристик і неявний метод та пропонується їх комбіноване використання. Тобто неявний метод застосовується при коротких амплітудах для збільшення кроку часу, а метод характеристик – для ефективного розбиття системи на регіони та зменшення кількості нелінійних рівнянь для обчислення.

В світовій практиці також приділяється увага застосуванню класу числових методів Рунге-Кутта-Чебишева та вказується на їх розширену область стабільності. З іншого боку нова методика ортогональних колокацій дозволяє отримати систему

нелінійних звичайних диференціальних рівнянь, які можна розв'язати методом Рунге-Кутга-Фельберга.

На основі аналізу літературних джерел з питань математичного моделювання нестационарних процесів у газопроводах і методів реалізації їх розв'язку встановлено, що дане питання, у зв'язку з його складністю, не достатньо вивчене. Це дозволило сформулювати та конкретизувати мету і задачі досліджень.

У другому розділі проведено дослідження та зроблено аналіз законів руху газу в трубопроводі, термогазодинамічних процесів у складних газотранспортних системах, а також методів реалізації математичних моделей, що їх описують.

При описі процесів перекачування природного газу, як правило, задачі гідродинаміки та теплообміну розглядалися окремо. Однак результати деяких праць засвідчують, що зміна швидкості потоку газу за течією та вздовж газопроводу впливає на характер та інтенсивність теплообміну газопроводу з навколишнім середовищем. У свою чергу, зміна температурних напружень у навколишньому середовищі призводить не тільки до нового розподілу швидкостей, але й до зміни режиму течії газу. Тому задача моделювання процесів течії газу в газопроводі повинна включати як гідравлічні, так і термодинамічні рівняння, пов'язані в єдину систему.

Процес перекачування газу газопроводом описується системою диференціальних рівнянь із частковими похідними. До неї входять: рівняння нерозривності

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho W_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho W_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W_z)}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

або у векторній формі

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} + \operatorname{div} \vec{W} = 0,$$

рівняння енергії

$$\frac{D_i}{\partial \tau} = -\frac{\operatorname{div} \vec{q}}{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{dP}{d\tau} + \frac{\Phi_1}{\rho} + \frac{q_v}{\rho} = 0, \quad (2)$$

де ρ – густина газу, кг/м^3 ;

W_x, W_y, W_z – швидкість газу по осях x, y, z відповідно, м/с ;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

P – тиск газу, МПа ;

μ – коефіцієнт тертя;

$\operatorname{div} \vec{W}$ – дивергенція швидкості газу;

$\operatorname{div} \vec{q}$ – дивергенція внутрішньої енергії, Дж/кг ;

q_v – питома ентальпія газу, Дж/кг ;

Φ_1 – дисипативна функція Рейля,

рівняння стану

$$f(P, \rho, T_2) = 0, \quad (3)$$

де T_2 – абсолютна температура газу, К.

Теоретичний аналіз нестационарних турбулентних течій ускладнюється, головним чином, відсутністю даних про характер зміни параметрів турбулентності в нестационарних умовах. У напівемпіричних теоріях використовують деякі додаткові зв'язки між характеристиками турбулентної структури, знайдені дослідним шляхом або взяті у формі припущень до прийняття моделі течії.

Для розрахунку неусталеного неізотермічного режиму транспортування газу трубопровідними системами необхідно спершу визначити початкові розподіли температур, тиску, густини та масової витрати. Для цього потрібно розв'язати відповідну стаціонарну задачу на основі середньоінтегральних значень вказаних величин.

Слід відзначити, що в літературі практично відсутні поради щодо вибору методу розв'язання подібних рівнянь. Зазвичай, теплові та гідродинамічні задачі розглядаються окремо, що суттєво допомагає при виборі чисельного методу розв'язання.

В роботі представлена 5-точкова схема зменшення повної варіації (ЗПВ) другого порядку наближення для розв'язування гомогенної частини нелінійних систем гіперболічних законів збереження, що описують нестационарні процеси в горизонтальних газопроводах на основі явної схеми ЗПВ Хартена з другим порядком наближення.

Система одновимірних нелінійних гіперболічних диференціальних рівнянь із частковими похідними першого порядку для нестационарного потоку природного газу в горизонтальних трубопроводах має вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\partial}{\partial x} m = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} m + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{m^2}{\rho} + c^2 \rho \right) = - \frac{f_x m |m|}{2D\rho}, \quad (5)$$

де ρ – густина газу, кг/м³;
 m – масовий потік газу, кг/с·м²;
 c – ізотермічна швидкість звуку, м/с;
 f_x – коефіцієнт гідравлічного опору;
 D – внутрішній діаметр трубопроводу, м.
 Рівняння (4) і (5) можна записати в компактній формі

$$\frac{\partial}{\partial t} \vec{U} + \frac{\partial}{\partial x} \vec{F}(\vec{U}) = \vec{r}(\vec{U}), \quad (6)$$

де

$$\vec{U} = \begin{bmatrix} \rho \\ m \end{bmatrix}, \quad \vec{F} = \begin{bmatrix} m \\ \frac{m^2}{\rho} + c^2 \rho \end{bmatrix}, \quad \vec{r}(\vec{U}) = \begin{bmatrix} 0 \\ - \frac{f_x m |m|}{2D\rho} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де \vec{U} – змінна вектору стану, \vec{F} – вектор потоку.

Рівняння (6) є негомогенною гіперболічною моделлю, яка описує нестационарні процеси в горизонтальних газопроводах.

Розв'язок рівняння (6) отримується з розподілу змінних визначеного вихідного поля, тобто з розподілу густини газу ρ і вектора масової витрати $m = \rho u$ уздовж трубопроводу. За відсутності реальних даних щодо розподілу значень вихідного поля припускається, що початкові умови формують значення змінних за стаціонарного режиму.

Після деяких перетворень 5-точкова явна схема ЗПВ другого порядку для гіперболічної моделі матиме вигляд:

$$\rho_j^{n+1} = \rho_j^n - \frac{\lambda}{2}(m_{j,n+1}^* - m_{j,n}^*) + \frac{1}{2}[(\beta_{j,n+2}^1 + \beta_{j,n+2}^2) - (\beta_{j,n+2}^1 + \beta_{j,n+2}^2)], \quad (8)$$

$$j = 2, 3, \dots, nj - 2,$$

$$m_j^{n+1} = m_j^n - \frac{\lambda}{2} \left\{ \left[\frac{(m_{j,n+1}^*)^2}{\rho_{j,n+1}^*} + c^2 \rho_{j,n+1}^* \right] - \left[\frac{(m_{j,n}^*)^2}{\rho_{j,n}^*} + c^2 \rho_{j,n}^* \right] \right\} +$$

$$+ \frac{1}{2} \left\{ (\beta_{j,n+2}^1 [\bar{u}(v_{j,n+2}) - c] + \beta_{j,n+2}^2 [\bar{u}(v_{j,n+2}) + c]) - (\beta_{j,n+2}^1 [\bar{u}(v_{j,n+2}) - c] + \beta_{j,n+2}^2 [\bar{u}(v_{j,n+2}) + c]) \right\},$$

$$j = 2, 3, \dots, nj - 2. \quad (9)$$

Фізичні крайові умови ставляться з метою врахування великої різноманітності експлуатаційних умов. Вони поділяються на дві категорії:

- 1) густина або тиск газу на початку є сталими або відома їх функція часу, а в кінці масова витрата є сталою, або відома її функція від часу;
- 2) значення масової витрати на вході і на виході є деякими функціями від часу.

Ці крайові умови необхідні для основних рівнянь (8-9) при рішенні кінцево-різницьких схем.

Третій розділ присвячено аналізу непроектованих режимів газопроводів, постановці їх крайових задач, а також математичному моделюванню ситуацій, які здатні зумовити появу перехідного процесу в магистральному газопроводі.

Оскільки вивчення аварійних і нештатних ситуацій на реальному газопроводі недопустиме, єдиним методом проведення досліджень є математичне моделювання. Тому для виконання поставлених завдань було застосовано комп'ютерне моделювання газотранспортної системи та процесів, які можуть викликати аварійні ситуації в її роботі.

В якості об'єкта дослідження обрано ділянку гіпотетичної газотранспортної системи з можливістю дослідження на ній нестационарних процесів, що виникають при раптовому закритті запірної арматури, аварійному витокі газу, появі несанкціонованого відбору, під'єднанні чи від'єднанні лупінгу тощо.

При дослідженні реакції системи на раптове припинення постачання газу шляхом перекриття лінійного крану, що може мати місце при аварії на одноступковому газопроводі, до розгляду прийнято уявну частину абсолютно горизонтального одноступкового газопроводу (рисунк 1).

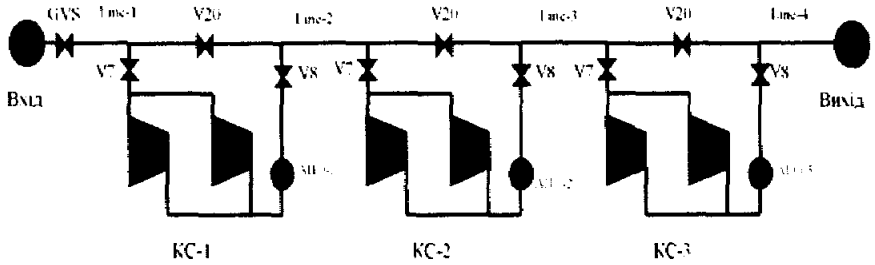


Рисунок 1 – Схема досліджуваного газопроводу

Протягом першої години симуляції газ транспортується зі сталою витратою без жодних змін у процесі перекачування. При цьому значення масової витрати становить 718 кг/с. На 60 хвилині лінійний кран перекривається, імітуючи припинення постачання газу при аварійній зупинці одноступінчатого газопроводу. Як наслідок, відбувається зменшення тиску в трубопроводі (після крану), що вимагає виконання заходів з метою недопущення аварійних режимів на КС на кожній ділянці. На 5 годині симуляції (через 4 години простою) постачання газу відновлюється шляхом відкриття лінійного крану.

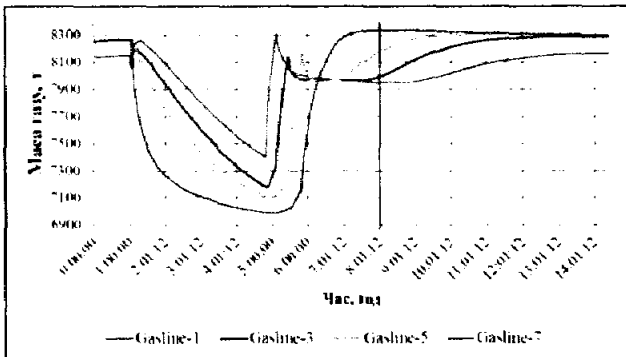


Рисунок 2 – Зміна маси газу в трубопроводі протягом процесу моделювання

На рисунках 2 і 3 можна побачити, що після перекриття лінійного крану в трубопроводі різко падає тиск і, разом з тим, що КС продовжують працювати ще деякий час, а в кожній ділянці газопроводу значно зменшується маса газу, особливо це помітно на останній ділянці. Проте після відновлення роботи системи процес відбувається у зворотному напрямку – ділянки заповнюються з кінця до початку. Потрібно також звернути увагу (рисунок 4), що при закритті лінійного крану, який імітує аварійну зупинку трубопроводу, наступні за ходом компресорні станції припиняють роботу менш ніж, за 1,5 хв, а от відновлення їх роботи відбувається

повільніше. Це пояснюється швидкістю поширення хвилі тиску в трубопроводі до і після гіпотетичної аварії.

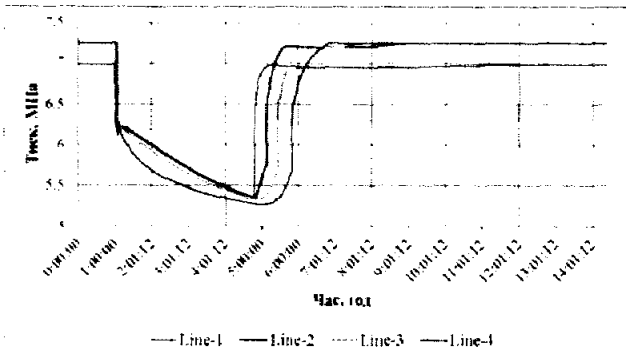


Рисунок 3 – Зміна тиску газу в трубопроводі протягом процесу моделювання

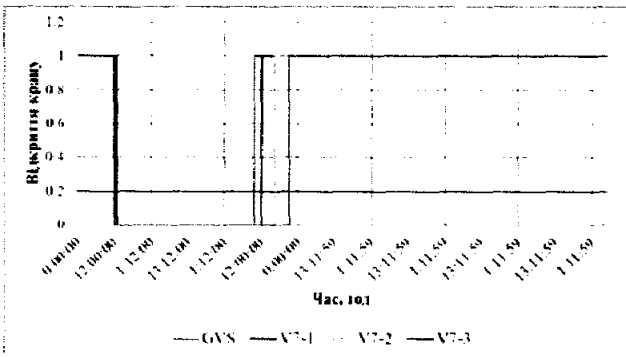


Рисунок 4 – Закриття/відкриття лінійного та станційних кранів

При визначенні величини впливу значення відбору, за якого відбувається падіння тиску, його місця на трубопроводі, а також часу його виявлення за допомогою штатних приладів (рисунок 5), встановлено, що аварійний витік газу з газопроводу чи несанкціонований відбір можна виявити за показниками телеметрії вдвічі швидше, якщо такий витік/відбір знаходиться ближче до кінця лінійної ділянки.

Четвертий розділ присвячений розробці методології керування режимами роботи газотранспортної системи при нештатних ситуаціях, на основі якої розроблено методику розрахунку нестационарного ізотермічного процесу. З метою апробації розроблених методів і алгоритмів проведено експериментальне дослідження режимів роботи складної системи газопроводів при виникненні

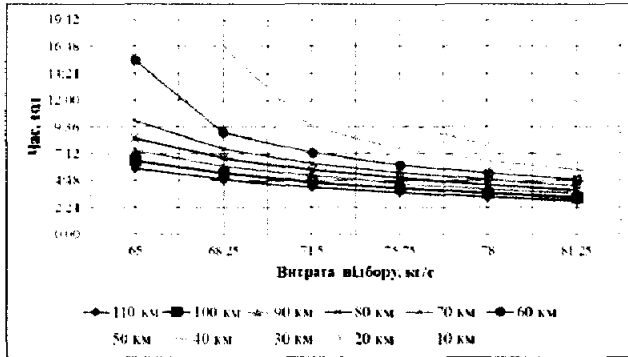


Рисунок 5 – Залежність часу виявлення падіння тиску від місця відбору газу та його величини

аварійної ситуації на діючих газопроводах «Прогрес» та «Уренгой-Помари-Ужгород» із використанням агрегативно-імітаційного моделювання.

Система рівнянь (1-3) є нічим іншим, як записаними у формі диференціальних рівнянь у часткових похідних законами нерозривності та збереження імпульсу й енергії. Для її чисельного розв'язку використовувався кінцево-різницевий метод. Система рівнянь (1-3) має дивергентний вигляд, що дозволяє побудувати консервативну різницеву схему. Для цього застосовувався інтегро-інтерполяційний метод або метод Годунова. Вони подібні між собою і дають однакові результати.

Скориставшись теоремою Гріна, формулою трапеції та провівши деякі перетворення, різницеві аналоги для рівняння нерозривності, збереження імпульсу та збереження енергії запишемо у вигляді рівнянь із системи (1-3):

$$\left((\rho v)_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} - (\rho v)_j^{n+\frac{1}{2}} \right) \Delta t + \left(\rho_{j+1}^{n+1} - \rho_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} \right) \Delta x = 0, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & \left((\rho v)_{j+1}^{n+1} - (\rho v)_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} \right) \Delta x + \left((\rho v^2 + P)_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} - (\rho v^2 + P)_j^{n+\frac{1}{2}} \right) \Delta t + \\ & + \left(\rho g \sin \alpha + \frac{1}{2d} \lambda \rho v |v| \right)_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} \Delta x \Delta t = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & \left(\rho e^{(so)} + \rho \frac{v^2}{2} + \rho g H \right)_{j+1}^{n+1} \Delta x - \left(\rho e^{(so)} + \rho \frac{v^2}{2} + \rho g H \right)_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} \Delta x + \\ & + \left(\rho v \left(\frac{v^2}{2} + h^{(so)} + g H \right) \right)_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} \Delta t - \left(\rho v \left(\frac{v^2}{2} + h^{(so)} + g H \right) \right)_j^{n+\frac{1}{2}} \Delta t + \\ & + \left(\frac{1}{d} K_{\tau} (T - T_0) \right)_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} \Delta t \Delta x = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Всі отримані різницеві рівняння мають дивергентний вигляд, отже, в них автоматично виконуються різницеві аналоги фізичних законів збереження. Таким чином, різницева схема, задана рівняннями (10), (11) і (12), є консервативною різницевою схемою.

Моделювання нестационарного режиму роботи газопроводу зводиться до розв'язання системи диференціальних рівнянь із частковими похідними першого порядку (1-3) при різних постановках нестационарних задач. Диференціальна задача (1-3) зводиться до системи різницевих алгебраїчних рівнянь (10-12).

Алгоритм отримання розв'язку нестационарної системи рівнянь із граничними умовами тиск на початку газопроводу, масова витрата в кінці газопроводу формується таким чином:

- побудувати сітку по координаті та за часом, задати розподіл витрати та тиску в початковий момент часу;
- отримати початкове наближення для тиску та витрати в момент часу dt ;
- перевірити, чи є вибране початкове наближення є розв'язком системи рівнянь

$$\begin{cases} P_0 = P_n((i+1) \cdot dt) \\ f_1(G_j, P_j, G_{j+1}, P_{j+1}) = 0, j = 0 \div N-1 \\ f_2(G_j, P_j, G_{j+1}, P_{j+1}) = 0, j = 0 \div N-1 \\ G_n = G_i((i+1) \cdot dt) \end{cases} \quad (13)$$

- якщо початкове наближення не є розв'язком системи (13), то розрахувати значення коефіцієнтів a_{ij}' , b_{ij}' і f_j' за формулами:

$$\begin{aligned} a_{11}' &= \frac{\partial f_1}{\partial G_j} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}), \\ a_{12}' &= \frac{\partial f_1}{\partial G_{j+1}} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}), \\ b_{11}' &= \frac{\partial f_1}{\partial P_j} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}), \\ b_{12}' &= \frac{\partial f_1}{\partial P_{j+1}} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}). \\ a_{21}' &= \frac{\partial f_2}{\partial G_j} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}), \\ a_{22}' &= \frac{\partial f_2}{\partial G_{j+1}} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}), \\ b_{21}' &= \frac{\partial f_2}{\partial P_j} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}), \\ b_{22}' &= \frac{\partial f_2}{\partial P_{j+1}} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}). \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} a_{21}' &= \frac{\partial f_2}{\partial G_j} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}), \\ a_{22}' &= \frac{\partial f_2}{\partial G_{j+1}} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}), \\ b_{21}' &= \frac{\partial f_2}{\partial P_j} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}), \\ b_{22}' &= \frac{\partial f_2}{\partial P_{j+1}} (G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}). \end{aligned} \quad (15)$$

$$f_1^j = a_{11}'G_j^{(0)} + a_{12}'G_{j+1}^{(0)} + b_{11}'P_j^{(0)} + b_{12}'G_{j+1}^{(0)} - f_1(G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}),$$

$$f_2^j = a_{21}'G_j^{(0)} + a_{22}'G_{j+1}^{(0)} + b_{21}'P_j^{(0)} + b_{22}'G_{j+1}^{(0)} - f_2(G_j^{(0)}, P_j^{(0)}, G_{j+1}^{(0)}, P_{j+1}^{(0)}).$$

– сформулювати систему лінійних рівнянь для витрати за формулами

$$A_j G_{j-1} + B_j G_j + C_j G_{j+1} = D_j,$$

$$B_0 G_0 + C_0 G_1 = D_0,$$

$$A_N G_{N-1} + B_N G_N = D_N.$$

і розв'язати її методом прогонки;

– знайти ітераційні значення тиску за формулою

$$P_0 = P_*(dt),$$

$$P_{j+1} = \frac{f_1^j}{b_{12}^j} - \frac{a_{11}^j}{b_{12}^j} G_j - \frac{a_{12}^j}{b_{12}^j} G_{j+1} - \frac{b_{11}^j}{b_{12}^j} P_j, \quad j = 0 \div N-1.$$

– якщо отриманий розв'язок задовольняє систему рівнянь (13), то ітерації припиняються, в іншому випадку проводиться наступне наближення доти, поки ітераційний процес не закінчиться;

– будеється розв'язок для наступного часового кроку. Процедура розв'язку для другого, третього та наступних часових кроків нічим не відрізняється від процедури для першого кроку.

Аналогічні алгоритми складено для різних постановок граничних умов.

Апробація параметрів розробленої моделі здійснювалася на базі системи двох паралельних магістральних газопроводів «Прогрес» та «Уренгой-Помари-Ужгород» («УПУ») на ділянці від КС Гусятин до ГВС Ужгород. Визначення адекватності роботи вказаної моделі перевірялося моделюванням аварійної ситуації, а саме: вибуху на трубопроводі «УПУ», при якому було пошкоджено його цілісність, що призвело до значної втрати газу. Математичне моделювання непроектного режиму здійснювалося за допомогою розробленого програмного забезпечення на основі агрегативно-імітаційного методу, вдосконаленого викладеною в даній роботі методикою розрахунку нестационарного руху газу в трубопроводах.

Фактичні дані щодо аварії, отримані в УМГ «Прикарпаттрансгаз», дали змогу встановити граничні умови і визначити початковий розподіл тиску та масової витрати по системі паралельних газопроводів «УПУ» і «Прогрес». Послідовність розрахунку кожного етапу даної схеми ГТС відбувалася згідно режимного журналу диспетчерської УМГ «Прикарпаттрансгаз». На рисунку 6 представлено агрегативно-імітаційну модель досліджуваних ділянок газопроводів, згідно якої проводилося моделювання нештатної ситуації.

За результатами моделювання за допомогою розробленого програмного забезпечення на графіках (рисунки 7 – 9) можна побачити порівняння даних щодо зміни тиску газу на вході та виході з компресорних станцій для обох досліджуваних газопроводів. Згідно них можна стверджувати, що забезпечується висока збіжність результатів, а також, що запропонована модель адекватно описує складні

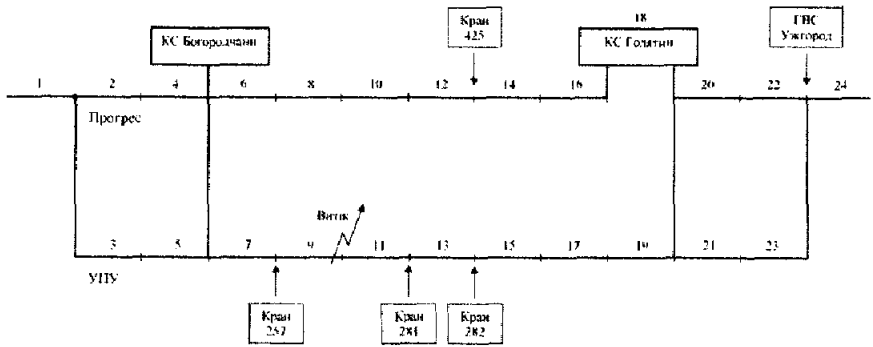


Рисунок 6 – Агрегативно-імітаційна схема досліджуваних ділянок газопроводів «Прогрес» та «Уренгой-Помари-Ужгород»

нестационарні процеси у газопроводі, такі як аварійні витіки з нього. Середнє відносне відхилення між результатами програми та фактичними даними складає 2-2,5 %.

Варто відзначити, що на рисунках по осі абсцис наведено значення часу в годинах після аварії. Саме в період між 27 і 33 годинами після початку аварії здійснюються керуючі дії, які найбільше впливають на процес розвитку нестационарності в газопроводі «УПУ». До них відносяться включення газоперекачувальних агрегатів на КС «Голятин» і переключення лінійних кранів для зміни руху газу по вказаних трубопроводах.

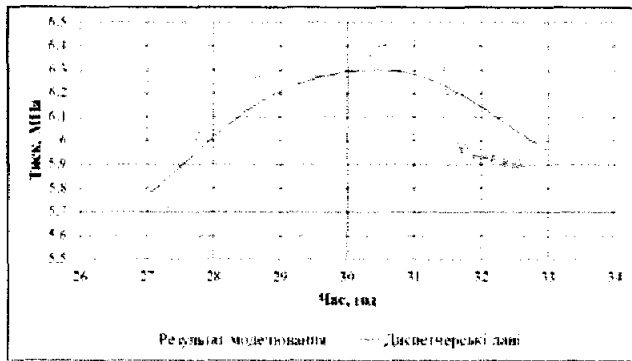


Рисунок 7 – Зміна тиску на вході у КС «Богородчани» газопроводу «Уренгой-Помари-Ужгород» за диспетчерськими даними та за результатами комп'ютерного моделювання

Оскільки диспетчерські дані записувалися що дві години, то на графіках лінія, відповідна їм лінія є більш плавною в порівнянні з лінією результатів моделювання.

Також на рисунках 7 і 8 у кінці та на початку відповідно відбувається виникнення збурення тиску в трубопроводі, спричиненого технологічними процесами.

За результатами експериментального моделювання зроблено висновок, що диспетчерам необхідно розглядати різні гіпотетичні аварії чи нештатні ситуації, які можуть мати місце на газопроводі, та з допомогою програмного забезпечення передбачувати їх наслідки, а також розробляти комплекс заходів для якнайшвидшого усунення факторів негативного впливу на роботу газотранспортної системи.

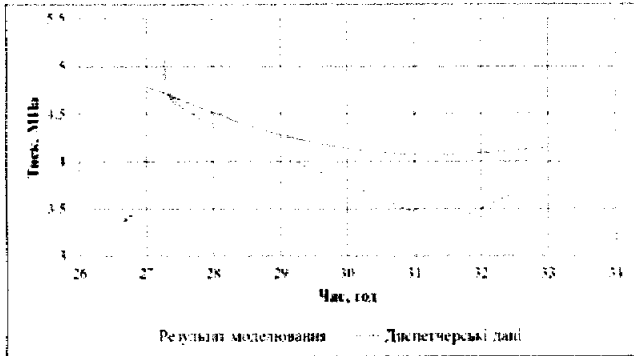


Рисунок 8 – Зміна тиску на вході у КС «Голятин» газопроводу «Уренгой-Помари-Ужгород» за диспетчерськими даними та за результатами комп'ютерного моделювання

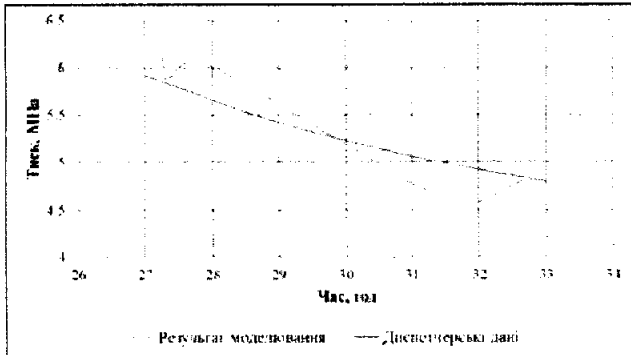


Рисунок 9 – Зміна тиску на виході з КС «Голятин» газопроводу «Прогрес» за диспетчерськими даними та за результатами комп'ютерного моделювання

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень вирішено важливу науково-практичну задачу, яка полягає у встановленні факторів впливу нестационарних процесів на режими роботи складних газотранспортних систем великої протяжності, розроблено концепцію функціонування та визначення основних параметрів для оптимального керування їх роботою за нештатних ситуацій, що відображається в наступних наукових положеннях і висновках:

1. На основі аналітичних досліджень термогазодинамічних процесів у складних системах газопроводів великої протяжності встановлено закономірності розподілу потоків газу з урахуванням змінних геометричних характеристик і характеру гідравлічного опору, що дозволило запропонувати новий концептуальний підхід до створення моделі керування режимами роботи газотранспортного комплексу.

2. Вдосконалено агрегативно-імітаційний метод, на базі якого створено математичну модель для розрахунку закономірностей зміни температури і тисків по довжині трубопроводу, що дозволяє виявляти аварійні ситуації. Запропоновано системний підхід для розрахунку режимів роботи складних газотранспортних систем, що дозволило підвищити точність отримання результатів до 3 %.

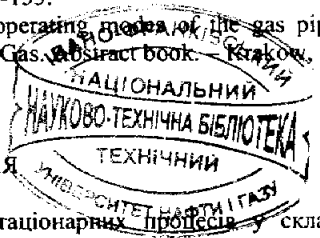
3. Проведено аналіз режимів роботи під час нештатних ситуацій і здійснено моделювання аварій на лінійній частині. Встановлено, що швидке поширення хвилі тиску призведе до зупинки першої за ходом газу компресорної станції менш, ніж за 5 хвилин, а наступних – через 1,5 хвилини одна за одною. При відновленні роботи час повторного включення зростає до 4 хвилин між запуском кожної КС. Досліджено, що аварійний витік газу з газопроводу чи несанкціонований відбір можна виявити за показниками телеметрії вдвічі швидше, якщо такий витік/відбір знаходиться ближче до кінця лінійної ділянки; при цьому існує межа між значеннями витрати витоків, які можна виявити.

4. Проведено експериментальне дослідження режимів роботи складної системи газопроводів при виникненні різних нештатних ситуацій на діючих газопроводах «Прогрес» та «Уренгой-Помари-Ужгород» із використанням агрегативно-імітаційного моделювання на основі розробленої методики. Розроблений програмний модуль дозволяє прогнозувати різні гіпотетичні аварії чи нештатні ситуації, які можуть мати місце на газопроводі, та передбачати їх наслідки, а також розробляти комплекс заходів для якнайшвидшого усунення факторів негативного впливу на роботу газотранспортної системи. Середнє відносне відхилення між результатами, отриманими згідно математичної моделі й експериментальними даними складає 2-2,5 %. Очікуваний економічний ефект від впровадження розробленої методики «Моделювання нестационарних процесів у газотранспортних системах» в УМГ «Прикарпаттрансгаз» ПАТ «Укртрансгаз» складає 230 тис. грн.

Основний зміст дисертації викладено в наступних наукових публікаціях:

- 1) Сусак О. М. Методика розрахунку густини природного газу в магістральних газопроводах великої протяжності / О. М. Сусак, Д. А. Волинський // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2013. – №2 (35). – С. 41-51.
- 2) Волинський Д. А. Визначення термодинамічних властивостей природного газу за високих тисків / Д. А. Волинський, О. М. Сусак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – №1 (50). – С. 100-106.
- 3) Тимків Д. Ф. Моделювання стану внутрішньої поверхні магістрального трубопроводу / Д. Ф. Тимків, Д. Д. Матієшин, Д. А. Волинський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – №2 (51). – С. 107-113.
- 4) Volynskyy D. Study of the non-project operating modes of the gas pipeline transportation system // AGH Drilling, Oil, Gas. – 2015. – Vol. 32, No. 2.
- 5) Волинський Д. А. Розроблення моделі руху газу при нестационарних ізотермічних процесах у магістральних трубопроводах // Нафтогазова енергетика. – 2014. – № 2 (22). – С. 35-42.
- 6) Волинський Д. А. Застосування рівняння стану AGA8 в умовах магістрального транспорту газу України / Д. А. Волинський // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції конференції «Нафтогазова енергетика-2013», м. Івано-Франківськ, 7-11 жовтня 2013р. – С. 188-191.
- 7) Волинский Д. А. Анализ использования многопараметрических уравнений состояния газа для газотранспортных систем / А. М. Сусак, Д. А. Волинский // «Трубопроводный транспорт – 2013». Материалы IX Международной учебно-научно-практической конференции. Издательство УГНТУ. – Уфа. – 2013. – С. 131-132.
- 8) Волинский Д. А. Математическое моделирование нестационарных процессов в сложной газотранспортной системе // «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта». Сб. тез. VIII междунар. науч.-техн. конф. Новополоцк, 25 – 28 ноября 2014 г. – С. 151-153.
- 9) Volynskyy D. Study of the non-project operating modes of the gas pipeline transportation system // 26th Conference Drilling-Oil-Gas. Abstract book. – Катков, 10-12 June 2015. – P. 32.

АНОТАЦІЯ



Волинський Д. А. – Прогнозування нестационарних процесів у складних газотранспортних системах великої протяжності – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2016.

Дисертацію присвячено дослідженню неусталених газодинамічних процесів у складних газотранспортних системах великої протяжності при різних режимах її роботи на основі математичного моделювання. В праці запропоновано для розв'язку

гіперболічної моделі диференційних рівнянь із частковими похідними, що описують неусталений рух газу, п'ятиточкову явну кінцево-різницевою схему зменшення повної варіації другого порядку, яка допомагає видалити фронтальні коливання та нечіткості, характерні іншим методам. На основі даної схеми розроблено алгоритм і методику розрахунку режимів роботи ГТС за нештатних ситуацій, реалізовані в програмі для моделювання роботи ГТС на основі агрегативно-імітаційного методу. При імітації роботи гіпотетичного газопроводу виявлені закономірності поширення хвилі тиску та наслідки, до яких вони призводять за аварійної зупинки лінійної ділянки газопроводу. Проведено експериментальне дослідження режимів роботи складної системи газопроводів при виникненні різних нештатних ситуацій на діючих газопроводах «Прогрес» та «Уренгой-Помари-Ужгород» на основі розробленої методики і підтверджено її ефективність та адекватність прогнозування з середнім відносним відхиленням 2-2,5% від реальних диспетчерських даних.

Ключові слова: газотранспортна система, нестационарні процеси, кінцево-різницева схема, агрегативно-імітаційний метод, непроектні режими, аварія.

АННОТАЦІЯ

Вольський Д. А. – Прогнозирование нестационарных процессов в сложных газотранспортных системах большой протяженности – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – Трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. – Ивано-Франковск, 2016.

Диссертация посвящена исследованию неустойчившихся газодинамических процессов в сложных газотранспортных системах большой протяженности при различных режимах ее работы на основе математического моделирования. В работе предложено для решения гиперболической модели дифференциальных уравнений с частными производными, описывающих неустойчившееся движение газа, пятиточечную явную конечно-разностную схему уменьшения полной вариации второго порядка, помогающую удалить фронтальные колебания и нечеткости, характерные другим методам. На основе данной схемы разработаны алгоритм и методика расчета режимов работы ГТС при нештатных ситуациях, реализованные в программе для моделирования работы ГТС на основе агрегативно-имитационного метода. При имитации работы гипотетического газопровода выявлены закономерности распространения волны давления и последствия, к которым они приводят при аварийной остановке линейного участка газопровода. Проведено экспериментальное исследование режимов работы сложной системы газопроводов при возникновении различных нештатных ситуаций на действующих газопроводах «Прогресс» и «Уренгой-Помари-Ужгород» на основе разработанной методики и подтверждена ее эффективность и адекватность прогнозирования со средним относительным отклонением 2-2,5% от реальных диспетчерских данных.

Ключевые слова: газотранспортная система, нестационарные процессы, конечно-разностная схема, агрегативно-имитационный метод, непроектные режимы, авария.

ABSTRACT

Dmytro Volynskyy – Prediction of unsteady processes in large-scale complex gas transmission pipeline systems – Manuscript.

The thesis is for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.15.13 – pipeline transportation, oil and gas storage facilities. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. – Ivano-Frankivsk, 2016.

This thesis is referred to research of unsteady gas dynamic processes in large-scale complex gas transmission pipeline systems with various operation modes based on mathematical modeling.

After having analyzed many articles, papers and other sorts of literature, related to this subject, it was stated that the gas transportation system is almost always operates with unsteady movement of natural gas. Thus, the emergence of fast and slow transients in the pipelines is being observed constantly. In general, slow transients are caused by pressure fluctuations and cyclic changes in gas consumption during the day. Fast transients, on the other hand, are generated mainly by rapid valves shutdown, unexpected failure of gas compressor unit or whole compressor stations, pipeline ruptures. Therefore, while simulating of complex large-scale gas transmission systems, aiming to prevent gas flow modes that can lead to emergencies, as well as using the obtained results for optimal operation management, one should consider all abovementioned factors.

Analysis of laws of gas flow in the pipeline systems was performed and mathematical equations that describe transient non-isothermal processes of natural gas transportation, including both hydraulic and thermodynamic equations were stated.

It is proposed to use an explicit 5-point second-order-accurate total variation diminishing scheme for solving hyperbolic model of differential equations with partial derivatives describing unstable gas flow. It helps to eliminate frontal oscillations and smearing whilst treating various boundary condition in comparison with other methods.

The principle of aggregation-simulation method was presented, using which it is possible to build models of complex pipeline systems, simulate various technological situations that arise during pipeline operation and to determine deviations from the mode.

The concept of a systematic approach to the study of complex modes of gas transport systems was shown that helps to take into account many different operational factors, determine important ones among others and manage them.

Analysis of non-project operating modes was carried out. It was found that propagation of pressure wave is much slower after pipeline restarting comparing with its velocity right after valve shut down in case of emergency. As a result, it leads to a slow setting of the mass balance before and after the accident at the opposite ends of pipeline. It was also analyzed that the regular devices can detect the emergency gas leak from the pipeline or an unauthorized diversion twice as fast if a leak is closer to the end of the line

segment. In addition, it can be stated that there is a limit between the values of the outflows that can be found and those, which cannot.

The algorithm for mathematical model of gas flow during emergencies was introduced together with the method of calculation of unsteady isothermal processes. In order to prove its efficiency the experimental research was carried out with the help of developed software basing on the field data of emergency on two operating pipelines «Progress» and «Urengoy-Pomary-Uzhgorod». The developed software allows to forecast and estimate various hypothetical emergencies that may occur in the pipeline, and to assess their impact as well as to develop a set of measures to ease the elimination of negative factors impact on the operation of the gas transmission pipeline system. The results of modeling shown that the average relative deviation between the results obtained by mathematical model and experimental data is 2-2,5 %. Therefore, it is concluded that dispatchers should consider hypothetical accidents or non-project modes that may occur in the pipelines, foresee their consequences, and develop a set of measures to eliminate factors with negative impact on operation of gas transmission system as soon as possible using such kind of software.

Keywords: gas transmission pipeline system, unsteady processes, finite-difference scheme, non-project modes, emergency.