

ТРАНСПОРТ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ І ГАЗУ

УДК 622.691.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ СЕЗОННИХ ЗМІН ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

М.Д. Середюк, М.І Фик, Р.В. Апостол

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,
e-mail: seredjuk@nung.edu.ua*

Наведені результати досліджень закономірностей сезонних змін режимних параметрів роботи відводів розподільних магістральних газопроводів. За результатами промислового експерименту одержані регресійні рівняння залежності витрати, тиску і температури у кінці відводів від середньодобової температури повітря.

Ключові слова: розподільний газопровід, газорозподільна станція, сезонний чинник, відвід, режим роботи

Приведены результаты исследований закономерности сезонных изменений режимных параметров работы отводов распределительных магистральных газопроводов. По результатам промышленного эксперимента получены регрессионные уравнения зависимости расхода, давления и температуры в конце отводов от среднесуточной температуры воздуха.

Ключевые слова: распределительный газопровод, газораспределительная станция, сезонный фактор, отвод, режим работы

Results of studies of mechanism of the seasonal changes of regime parameters of the branches of distribution gas pipelines has been considered. On the results of an industrial experiment, the regression equations were obtained according to flow rate, pressure and temperature at the end of the branches of the daily average air temperature.

Keywords: distribution pipeline, gas-distributing station, seasonal factor, branch pipeline, regime of work

Газотранспортна система (ГТС) України – це складна за структурою трубопровідна система, яка виконує дві функції – транзитне транспортування російського газу на експорт і постачання газу вітчизняним споживачам. Аналіз режимів роботи газопроводів України свідчить, що деякі із газопроводів виконують переважно функцію транзитних поставок газу за кордон, для інших – домінує функція забезпечення газом вітчизняних споживачів. Перший тип газопроводів прийнято називати транзитними газопроводами, а другий – розподільними газопроводами. Значна частка газопроводів України поєднує функції як транзитних, так і розподільних газопроводів.

Як для транзитних, так і для розподільних газопроводів важливе значення має достовірне прогнозування їх режимних та енергетичних параметрів роботи залежно від схеми роботи елементів ГТС і сезонних змін умов перекачування та споживання газу. Воно є основою обґрунтованого вибору економічних режимів ек-

плуатації ГТС за критерієм мінімальних енерговитрат на транспортування заданого обсягу газу. Зменшення енерговитрат у процесі експлуатації ГТС є актуальним, оскільки відповідає пріоритетним для України принципам ресурсоенергозбереження.

Після відкриття будь-якого відводу чи відгалуження змінюється конфігурація та гідравлічний опір розгалуженої трубопровідної системи. Це спричинює виникнення перехідних нестационарних термогазодинамічних процесів руху газу. Як свідчать результати наших досліджень, тривалість явно виражених нестационарних процесів у складних газопроводах не перевищує 30-90 хв. Далі процес перекачування газу у трубопроводі стабілізується, і параметри його руху можна розраховувати за квазістационарними чи стационарними моделями [1].

У роботі [2] нами запропонована методологія прогнозування пропускної здатності та режиму роботи розподільного газопроводу, що характеризується значною часткою шляхових

відборів газу, для будь-якої комбінації підключення споживачів з урахуванням сезонних змін умов перекачування та споживання газу. За пропускну здатність розгалуженого газопроводу приймали максимальну кількість газу, яку можна транспортувати і поставляти споживачам для певної комбінації підключених споживачів, заданій кількості працюючих газоперекачувальних агрегатів на кожній компресорній станції та за умов навколишнього середовища, що відповідають розрахунковому періоду. Розрахунок проводився за таких граничних умов: заданих значеннях тиску і температури газу на вході у першу компресорну станцію, заданому тиску газу у кінці газопроводу та заданих тисках газу на вході шляхових споживачів.

Метою наведених нижче досліджень є безпосереднє ув'язування сезонних характеристик шляхових споживачів газу, технічних характеристик регуляторів тиску на газорозподільних станціях (ГРС) і режимних та енергетичних параметрів роботи розподільних газопроводів. У результаті створюються умови для оптимізації режимів експлуатації системи «розподільний газопровід – споживач газу (населений пункт)» за критерієм мінімальних енерговитрат.

У загальному випадку розподільний газопровід за геометричною структурою подібний до «складного дерева», тобто складається з основної магістралі та відгалужень, які, в свою чергу, мають відводи. На магістралі розміщено n_k компресорних станцій, оснащених відцентровими нагнітачами з газотурбінним приводом. На кожній із n_k ділянок магістралі підключено nv_i відгалужень. Кожне відгалуження може мати ndv_{ij} ділянок. До кожного відгалуження підключено $(ndv_{ij} - 1)$ відводів. Якщо відгалуження складається лише з однієї ділянки, воно має статус відводу.

У кінці відгалужень та відводів розміщені шляхові споживачі газу, що живляться від ГРС. ГРС призначені для подавання певних обсягів газу із сталим тиском у населені пункти. Обсяги споживання газу шляховими споживачами залежать від десятків чинників, насамперед від сезонних змін температури повітря. Закономірності зміни обсягів споживання газу шляховими споживачами залежать, у першу чергу, від частки побутових споживачів у загальному обсязі споживання газу населеним пунктом.

Особливість розгалуженого газопроводу полягає у тому, що його можливості щодо обсягів подачі газу по кожному відгалуженню і відводу повинні бути не меншими від потреб шляхових споживачів. Останні змінюються за певними законами протягом доби – по годинах, протягом місяця – по днях і протягом року – по місяцях

$$Q_{wijk} \geq Q_{cwijk}(t), \quad (1)$$

де: Q_{wijk} – витрата газу на відводі від k -ої ділянки j -ого відгалуження на i -й ділянці

магістрального газопроводу; $Q_{cwijk}(t)$ – витрата газу споживачем, що розміщений у кінці відводу від k -ої ділянки j -ого відгалуження на i -й ділянці газопроводу.

Іншими параметрами роботи розгалуженого газопроводу, які підлягають постійному контролю і керуванню, є тиски газу у кінці відводів P_{kwijk} . Для кожного моменту часу фактичні тиски газу у кінці відводів повинні бути не менші за мінімально допустимі тиски на вході ГРС, що забезпечують надійну роботу регуляторів тиску на відповідній ГРС

$$P_{wijk}(t) \geq P_{minwijk}(t). \quad (2)$$

де $P_{minwijk}$ – мінімально допустимий тиск газу у кінці k -ого відводу j -ого відгалуження від i -ої ділянки газопроводу.

Пропускна здатність регулятора тиску залежить від витрати газу і співвідношення тисків газу на його вході і виході. За значних перепадів тиску $P_{вих} < 0,5P_{вх}$ для будь-якого моменту часу необхідний коефіцієнт пропускну здатності регулятора тиску визначається за формулою [3]

$$k_v = \frac{Q}{2388 P_{вх} \sqrt{\frac{1}{\rho_H T_{вх}}}}, \quad (3)$$

де: Q – витрата газу через регулятор тиску за нормальних умов споживачами населеного пункту, що живляться від ГРС, м³/год; $P_{вх}$ – абсолютний тиск газу на вході ГРС – тиск газу у кінці відводу розгалуженого газопроводу, МПа; $P_{вих}$ – абсолютний тиск газу на виході ГРС – тиск газу на початку газових мереж населених пунктів, МПа; ρ_H – густина газу за нормальних умов; $T_{вх}$ – температура газу на вході у регулятор тиску, що залежить від сезонних умов експлуатації розподільних газопроводів.

На кожній ГРС встановлені регулятори тиску певної марки і певного типорозміру. Кожен типорозмір регулятора характеризується номінальним значенням коефіцієнта пропускну здатності k_{vh} . Для забезпечення надійного газопостачання для кожного моменту часу повинна виконуватись умова: необхідне значення коефіцієнта пропускну здатності регулятора тиску повинно бути не меншими за номінальне

$$k_v \geq k_{vh}. \quad (4)$$

Знаючи закономірності зміни обсягів споживання газу шляховим споживачем, прирівнюючи необхідне та номінальне значення коефіцієнтів пропускну здатності регуляторів тиску, з урахуванням рівняння (3) можна визначити закономірності зміни мінімально допустимих тисків на вході ГРС як функцію часу.

Якщо фактичні тиски газу у кінці відводів значно перевищують мінімально допустимі величини, то це свідчить про наявність надлиш-

кових ресурсів енергії газу. Цю енергію газу доцільно утилізувати у той чи інший спосіб, що підвищить загалом ефективність роботи магістрального газопроводу.

Встановимо закономірності зміни мінімально допустимих тисків у кінці відводів розгалуженого газопроводу. Із формули (3) одержуємо аналітичний вираз для мінімально допустимого тиску на вході ГРС як функцію часу експлуатації

$$P_{exmin} = \frac{\sqrt{\rho_H T_{ex}}}{2388k_{vh}} Q(t). \quad (5)$$

На багатьох ГРС, що живлять населені пункти, встановлені регулятори тиску РДУ-80-01 із номінальним значенням коефіцієнта пропускної здатності $k_{vh} = 50$. Приймаємо густину газу за нормальних умов $\rho_H = 0,73 \text{ кг/м}^3$, температуру газу на вході в ГРС $T_{ex} = 283 \text{ К}$. Для конкретного випадку формула (5) приймає вигляд

$$P_{exmin} = 1,2 \cdot 10^{-4} Q(t), \text{ МПа}. \quad (6)$$

Якщо мінімальне значення витрати газу населеним пунктом влітку становить, для прикладу, $Q_{min} = 9000 \text{ м}^3/\text{год}$, а максимальне у зимовий період – $Q_{max} = 22000 \text{ м}^3/\text{год}$, то згідно з формулою (5) мінімальне значення тиску у кінці відводу від розгалуженого газопроводу буде змінюватись протягом року за певним законом від 1,08 МПа до 2,64 МПа.

Математична модель розгалуженого газопроводу з урахуванням сезонних змін обсягів споживання газу передбачає безпосереднє ув'язування характеристик шляхових споживачів газу з режимними параметрами експлуатації розподільних магістральних газопроводів. Для реалізації зазначеної моделі необхідно знати, насамперед, закономірності зміни обсягів споживання газу шляховими споживачами по годині протягом доби, по днях протягом місяця і по місяцях протягом року. Іншим параметром роботи розгалужених газопроводів, який підлягає контролю та регулюванню, є тиск газу у кінці відводів (на вході ГРС). Він визначає надлишковий ресурс енергії газу, який не можна безпосередньо використати на транспортування газу, але можна тим чи іншим способом перетворити в іншу форму енергії, зменшивши у цілому енерговитратність процесу газопостачання.

З метою виявлення сезонних закономірностей зміни обсягів споживання газу і тисків у кінці відводів нами проведені промислові експерименти на газопроводах, що експлуатуються УМГ «Харківтрансгаз». Для низки шляхових споживачів (ГРС) зібрані статистичні дані про обсяги споживання газу, величину тиску і температуру газу у кінці газопроводів-відводів, а також дані про температурні умови навколишнього середовища. Після збору масиву даних за поточний місяць проводилось формування таблиць у програмній оболонці, розрахунок нерівномірностей газоспоживання та одержан-

ня залежностей режимних параметрів роботи розгалужених газопроводів від температури повітря.

Насамперед обґрунтовано вигляд регресійних моделей. З урахуванням специфіки фізичних процесів використання газу можна прогнозувати, що під час опалювального сезону витрати газу в населених пунктах визначаються, у першу чергу, температурою повітря (причому, чим вища температура повітря, тим менша витрата газу). Тому поле кореляції апроксимували лінійною залежністю

$$y = a + bx, \quad (7)$$

де a, b – коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються методом найменших квадратів.

Для кожного серії дослідів визначалася величина дисперсії адекватності, стандарт вибірки, коефіцієнт кореляції та коефіцієнт детермінації. Для підвищення адекватності розроблених регресійних моделей серед статистичних даних промислового експерименту виявлялись ті, які є грубими помилками або відповідають нештатним та аварійним ситуаціям в газотранспортній системі. Для цього кожен точку вибірки перевіряли на виконання умови

$$|y_{im} - y_i| \leq s \left[t^2(\sqrt[n]{p_o}, n) + \frac{1}{n} t^2(p_o, n) \right]^{0,5}, \quad (8)$$

де: $t(\sqrt[n]{p_o}, n)$, $t(p_o, n)$ – коефіцієнти Ст'юдента; p_o – довірча імовірність.

Експериментальні точки, для яких умова (8) не виконувалась, вважались грубо помилковими і їх відкидали. Оскільки на початку розрахунків величина відхилення розрахованих і експериментальних даних невідома, то розроблений нами обчислювальний алгоритм передбачає два етапи обчислень. На першому етапі розрахунків коефіцієнти моделі регресії визначаються за всією наявною вибіркою статистичних даних. Обчислюються коефіцієнти кореляції та детермінації. Якщо значення коефіцієнта кореляції більше за 0,8, то збіжність результатів прийнято вважати достатньою [4]. На другому етапі розрахунків перевіряють виконання умови (8) для кожної точки вимірювань. Точки, для яких зазначена умова не виконується, вилучають із множини експериментальних даних. Після цього повторно визначаються коефіцієнти моделі регресії за скоригованою вибіркою статистичних даних. Обчислюють скориговані коефіцієнт кореляції та коефіцієнт детермінації. Описаний алгоритм реалізований нами у програмі «GRS», яка дає змогу для будь-якої вибірки експериментальних даних визначити коефіцієнти моделі регресії і побудувати відповідні графічні та аналітичні залежності.

Розглянемо методику аналізу впливу сезонних умов на режим роботи розподільного газопроводу на прикладі одного із елементів газотранспортної системи. На розподільному газопроводі передбачений відвід, у кінці якого розміщена ГРС №1, яка постачає газ у відповідний населений пункт. Через конфіденційність

Таблиця 1 – Коефіцієнти сезонної нерівномірності споживання газу для ГРС №1 за результатами промислового експерименту

Номер місяця у році	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Коефіцієнт сезонної нерівномірності споживання газу	1,68	1,94	1,37	0,88	0,48	0,26	0,27	0,26	0,33	0,92	1,76	1,87

Таблиця 2 – Коефіцієнти добової нерівномірності споживання газу під час опалювального сезону для ГРС №1 за результатами промислового експерименту

Номер місяця у році	1	2	3	4	5	10	11	12
Коефіцієнт добової нерівномірності споживання газу:								
мінімальний	0,84	0,68	0,67	0,55	0,42	0,40	0,61	0,89
максимальний	1,34	1,29	1,62	1,28	2,18	1,45	1,40	1,17
Відношення максимального добового до мінімального добового споживання газу	1,60	1,90	2,42	2,33	5,19	3,62	2,30	1,46

службової інформації географічні назви ГРС і населених пунктів у роботі замінимо умовними номерами.

Нами зібрані дані вимірювання витрати газу, тиску і температури у кінці газопроводу – відводу (на вході ГРС №1) для кожної години протягом 2007 р.

Дослідження засвідчили, що на зміну обсягів споживання газу протягом доби впливають десятки чинників, багато із яких мають випадковий характер. Тому нерівномірність споживання газу кожної доби також має випадковий характер і не може бути описана загальними залежностями. Для прогнозування режимів експлуатації розподільних газопроводів така нерівномірність споживання газу не має великого значення, тому що повністю компенсується акумулятивною здатністю газопроводів та газових мереж населених пунктів.

З цієї причини метою наших подальших досліджень були добова і сезонна нерівномірності споживання газу, які суттєво впливають на режим роботи розподільних магістральних газопроводів. Для кількісної характеристики сезонної нерівномірності споживання газу використовуємо коефіцієнт сезонної нерівномірності

$$k_{сез} = \frac{Q_i}{Q_{cp}}, \quad (9)$$

де: Q_i – обсяг споживання газу протягом i -ого місяця; Q_{cp} – середньомісячне споживання газу населеним пунктом.

У таблиці 1 наведені результати розрахунку коефіцієнта сезонної нерівномірності споживання газу для ГРС № 1.

Із таблиці 1 випливає, що протягом року коефіцієнт сезонної нерівномірності споживання газу для ГРС № 1 змінюється у діапазоні від 0,26 до 1,87. Таким чином, у найбільш холодний період обсяг споживання газу населеним пунктом у 7 разів більший, ніж у теплий період року.

Як показали розрахунки, із коефіцієнтом кореляції $R = 0,95$ сезонну закономірність зміни обсягів споживання газу ГРС №1 можна описати такою поліноміальною моделлю

$$Q_N = 1428 - 192,7 \cdot N - 17,14 \cdot N^2 + 2,717 \cdot N^3, \quad (9)$$

де Q_N – обсяг споживання газу протягом N -ого місяця року, тис.м³.

Цікавою з точки зору експлуатації розподільних газопроводів є пікова нерівномірність споживання газу, тобто нерівномірність споживання по добах протягом місяця. Для кількісної характеристики добової нерівномірності споживання газу використовуємо коефіцієнт добової нерівномірності

$$k_{доб} = \frac{Q_{i0}}{Q_{ср0}}, \quad (10)$$

де: Q_{i0} – обсяг споживання газу протягом i -ої доби місяця; $Q_{ср}$ – середньодобове споживання газу за даний місяць.

У таблиці 2 наведені результати розрахунку коефіцієнтів добової нерівномірності споживання газу під час опалювального сезону для ГРС №1.

Аналіз даних таблиці 2 свідчить, що співвідношення максимального добового до мінімального добового споживання газу найменше у зимові місяці року – грудні, січні і лютому. Для місяців весняно-осіннього сезону це співвідношення значно зростає, що відповідає більшій нерівномірності температур повітря і відповідно обсягів споживання газу населеним пунктом.

Графіки залежності спожитої витрати газу, тиску та температури газу у кінці газопроводу-відводу до ГРС № 1 від середньодобової температури повітря показані на рисунках 1, 2, 3.

Математична обробка вибірки статистичних даних за весь опалювальний період дала змогу одержати таку узагальнену залежність

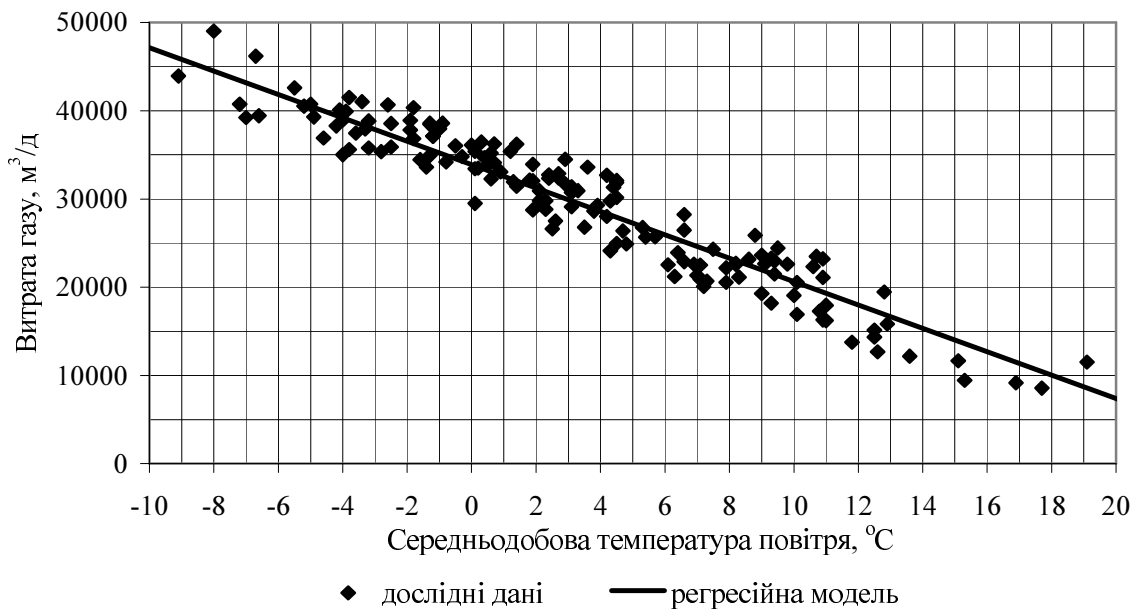


Рисунок 1 – Результати математичного моделювання залежності витрати газу на ГРС №1 від середньодобової температури повітря

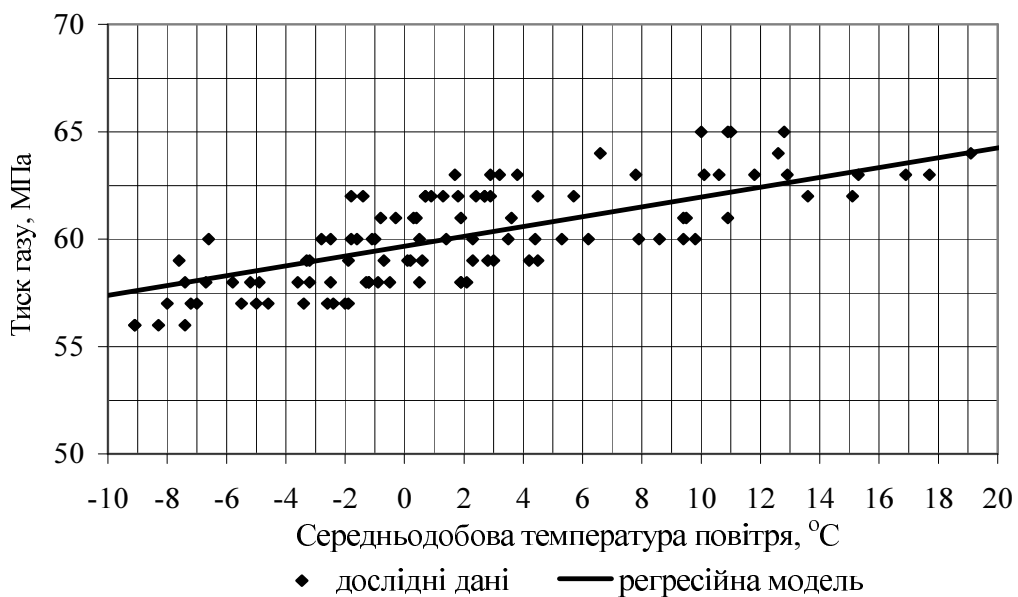


Рисунок 2 – Результати математичного моделювання залежності тиску у кінці відводу (на вході ГРС №1) від середньодобової температури повітря

витрати газу ($\text{м}^3/\text{д}$) через регулятори ГРС №1 від середньодобової температури повітря ($^{\circ}\text{C}$)

$$Q = 33874 - 1325 \cdot t_{\text{нов}} \quad (12)$$

Аналогічним чином одержані регресійні моделі залежності тиску P_k (МПа) і температури газу t_k ($^{\circ}\text{C}$) у кінці газопроводу-відводу (на вході ГРС № 1) від середньодобової температури повітря $t_{\text{нов}}$ ($^{\circ}\text{C}$) для опалювального сезону

$$P_k = 59,7 + 0,23 \cdot t_{\text{нов}} \quad (13)$$

$$t_k = 6,8 + 0,38 \cdot t_{\text{нов}} \quad (14)$$

Для математичних моделей (12)-(14) коефіцієнт кореляції перевищує 0,9, що свідчить про їх достатню адекватність і можливість застосування для прогнозування режимів роботи розподільних газопроводів.

Слід зазначити, що нами здійснено спроби виявити зв'язок між обсягами споживання газу та мінімальною чи максимальною за добу температурою повітря. Такий зв'язок не виявлений, коефіцієнти кореляції таких моделей на перевищують 0,2. Що стосується неопалювального сезону року, то витрати газу за цей період приблизно стали у часі і визначаються здебіль-

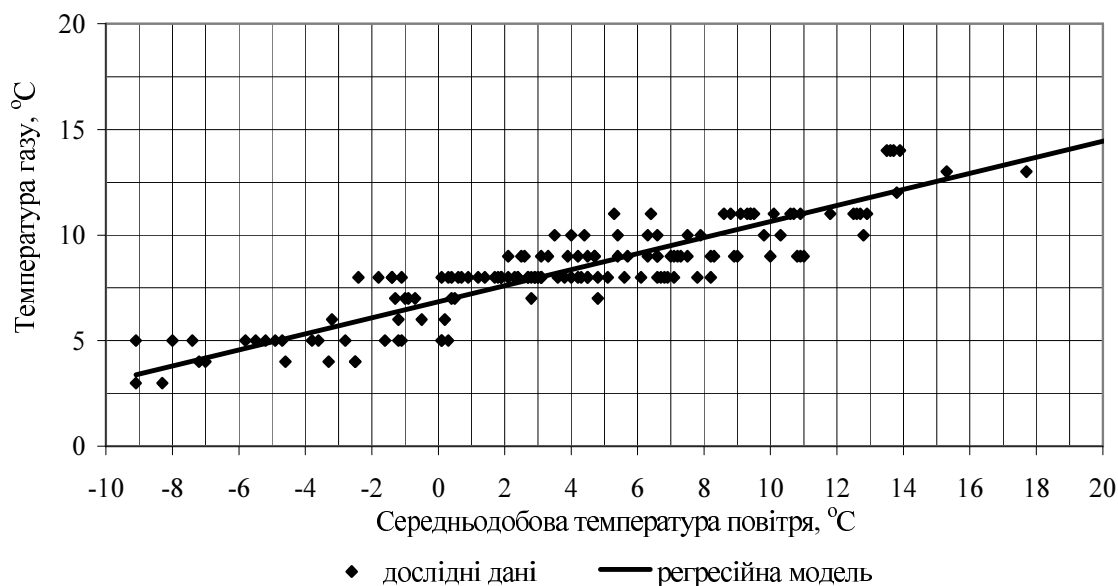


Рисунок 3 – Результати математичного моделювання залежності температури газу у кінці відводу (на вході ГРС № 1) від середньодобової температури повітря

шого технологічним режимом роботи підприємств.

Аналогічні дослідження нами проведені для низки газопроводів-відводів системи розгалужених газопроводів УМГ «Харківтрансгаз». Для кожного із зазначених споживачів газу зібрані статистичні дані за останні роки експлуатації. Виконана їх математична обробка за описаною вище методикою. Одержано регресійні моделі сезонних змін технологічних параметрів роботи елементів розгалужених газопроводів, коефіцієнт кореляції яких перевищує 0,9, що засвідчує їх адекватність. Математичні моделі можуть бути використані при визначенні режимних параметрів розподільних газопроводів з урахуванням сезонних закономірностей споживання газу.

Таким чином, запропонована нами методика дає змогу аналітично описати взаємозв'язок між сезонними обсягами споживання газу населеними пунктами, характеристиками регуляторів тиску на ГРС і режимними параметрами роботи відводів розподільних газопроводів. Шляхом математичної обробки статистичних даних режимів роботи розподільних газопроводів встановлено, що основним чинником, який визначає режимні параметри відводів, ГРС та шляхових споживачів газу у холодний період року (опалювальний сезон) є середньодобова температура повітря. Розроблені нами регресійні моделі залежності витрати газу, тиску і температури у кінці відводів від середньодобової температури повітря для низки розподільних газопроводів дають можливість для будь-якого моменту часу адекватно прогнозувати режим роботи розгалужених газопроводів, енерговитратність перекачування газу та надлишкові ресурси тиску у кінці відводів.

Література

- 1 Фик М.І. Спрощена система газодинамічних рівнянь математичної моделі одноступінчастої лінійної ділянки газопроводу / М. І. Фик // Нафтова і газова промисловість. – 2007. – № 6. – С. 39-43.
- 2 Фик М.І. Визначення пропускної здатності газотранспортних систем розгалуженої структури / М.І. Фик, М.Д. Середюк, М.П. Андрішин // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2007. – № 1(15). – С. 94-98.
- 3 Середюк М.Д. Проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів / М.Д. Середюк, В.Я. Малик, В.Т. Болонний. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 435 с.
- 4 Калиткин Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 508 с.

*Стаття постуила в редакційну колегію
26.02.10
Рекомендована до друку професором
В. Я. Грудзом*