

АНОТАЦІЯ

Грудз В.Я. Раціональні режими роботи тривалоексплуатованих газотранспортних систем в умовах їх неповного завантаження. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 185 – Нафтогазова інженерія та технології, галузь знань 18 - Виробництво та технології - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2020.

Тривала експлуатація транзитної газотранспортної системи в умовах неповного завантаження передбачає часті зміни обсягів транспортування газу, що викликає необхідність в оперативному прогнозуванні стаціонарних режимів роботи системи. Для прогнозування поведінки системи транспорту газу в умовах зміни режимів експлуатації важливо оцінити стан трубопроводів і компресорних станцій з метою вибору оптимального режиму експлуатації. Така задача вимагає проведення детального обстеження елементів газотранспортної системи, що передбачає значні витрати часу. Тому актуальним питанням є створення спрощених методик оцінки гідравлічного стану газотранспортної системи і оперативного прогнозування стаціонарних режимів її експлуатації.

Метою дисертаційної роботи є встановлення закономірностей протікання технологічних процесів в газотранспортних системах для оптимізації оперативного керування експлуатаційними режимами за умови їх неповного завантаження.

Запропоновано методи створення математичних моделей технологічних процесів транспортування газу системами магістральних газопроводів, приводяться характеристики принципів моделювання стаціонарних і нестаціонарних процесів.

На основі дослідження стаціонарних режимів роботи газотранспортної системи при частій зміні обсягів перекачування газу запропоновано принцип побудови математичних моделей для оперативного керування ГТС, який характеризується достатньою точністю і високою швидкістю реалізації прогнозних параметрів. В основу моделей покладено метод інтегральних коефіцієнтів впливу, які визначаються за параметрами попередніх режимів. Це дозволяє оперативно визначити тиски і витрати газу в будь-якій точці системи [3].

Побудовано математичну модель газопроводу з врахуванням впливу компресорних станцій на основі класичних рівнянь енергії газового потоку і нерозривності з використанням функцій джерела Дірака. Реалізація створеної математичної моделі шляхом застосування інтегральних перетворень Фур'є і Лапласа дозволила отримати в аналітичній формі залежність, що відображає закон коливання в часі масової витрати газу в початковому і кінцевому перерізі газопроводу. Побудовані залежності тренду продуктивності газотранспортної системи на її початку і в кінці показали вплив розміщення компресорної станції в газотранспортній системі, зокрема її порядкового номеру на трасі, на характер і тривалість нестационарного процесу, викликаного її зупинкою. Отримані результати рекомендується використати при прогнозуванні режимів роботи газотранспортних систем за умови їх неповного завантаження.

При неповному завантаженні системи процес формування депресії тиску в кожний поточний момент при зміні величини продуктивності є нестационарним і характеризується коливанням тисків з певною частотою і амплітудою. Суперпозиція тисків при верхній граничній лінії депресії може призвести до перевищення початкового тиску понад допустимий. Для запобігання перенавантаженню трубопроводу пропонується знижувати початковий тиск по відношенню до максимального. Отримана розрахункова

залежність на основі результатів моделювання нестационарного процесу з використанням фактичних даних протікання нестационарних процесів в газопроводах трансукраїнської газотранспортної системи [5,6].

Значні зміни величини витрати газу, і, як наслідок, параметрів режиму роботи газопроводів мають суттєвий вплив на гідравлічний стан лінійної частини, який характеризується фактичним значенням коефіцієнта гідравлічного опору. Відомі методи діагностики неприйнятні для оперативного прогнозу, оскільки вимагають додаткової інформації про зміну тиску і значного часу реалізації. Тому пропонуються спрощені методи, що базуються на нестационарних моделях. Серед них метод пониження порядку диференціальних рівнянь і метод врахування зміни швидкості. Їх застосування дає більш достовірні результати, ніж методи усереднювання [1].

Важливим параметром, що використовується в системі діагностування магістральних газопроводів, є швидкість розповсюдження звуку в газі, яку вважають сталою по довжині і в часі. Від її величини залежить результат діагностування координати аварійного витoku газу, розрахункове значення тривалості нестационарного процесу, діапазон коливання тиску та ін.

Дослідження характеру зміни швидкості звуку в газі з метою удосконалення діагностики базується на рівнянні енергії газового потоку. На основі аналізу процесу руху газу в трубопроводі з урахуванням термодинамічних властивостей отримано формулу залежності швидкості звуку від технологічних параметрів (тисків і температур) для гомогенного середовища [1,2].

При зміні характеристик середовища (перехід до гетерогенного) швидкість звуку змінюється у відповідності до формули Вуда.

З метою прогнозування амплітуди коливання тиску в нестационарному процесі і запобігання резонансним явищам при цьому амплітудно-частотну і фазово-частотну характеристики.

При ліаметрах більше 500 мм і довжинах більше 50 км. діапазон власних частот лежить в межах від 0,1 до 20 1/год. Реальний діапазон зміни частот 965 – 1585 1/год. Отже, в реальних випадках для магістральних газопроводів явище резонансу не характерне [2].

Оптимальним режимом вважається режим, для якого критерій оптимальності, який характеризує енерговитрати на транспорт, приймає мінімальне значення. Енерговитрати газу на транспорт, які можна виразити в еквівалентних обсягах газу як енергоносія, пропонується розділити на витрати паливного газу для приводу газоперекачувальних агрегатів, які пропорційні його потужності, і витрати технологічного газу для підтримання тиску в трубопроводах. Тоді мінімум енерговитрат відповідатиме мінімуму сумарних витрат газу, які є сумою паливного і технологічного газу. Збільшення кількості технологічного газу в трубах призводить до зростання робочих тисків, а, значить, до зменшення енергетичних втрат при транспорті, отже, до зменшення витрати паливного газу. Тому при оптимальному режимі сума витрат паливного і технологічного газу має мінімум. Запропонований принцип оптимізації режимів реалізується методом конкуруючих варіантів, які відрізняються максимальними робочими тисками [4].

Керування режимами газотранспортної системи зводиться до керування режимами роботи компресорних станцій, враховуючи можливість їх експлуатації чи тимчасової зупинки.

Принцип оптимального керування режимами роботи багатоцехової компресорної станції базується на рівномірному розподілі енергонавантаження між цехами і при цьому забезпечення роботи кожного з агрегатів в режимі, близькому до номінального [7].

Завдання пошуку оптимального варіанту роботи багатоцехової компресорної станції є завданням пошуку оптимального плану розподілу

навантажень між окремими її цехами. При цьому виходять з мінімуму сумарних енергетичних витрат з урахуванням відповідних технологічних обмежень.

Ключові слова

Газотранспортна система, неповне завантаження, діагностика, оптимізація режимів компресорна станція, газоперекачувальний агрегат

Grudz V.Ya. Rational modes of operation of long-operated gas transportation systems under condition of their incomplete loading. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 185 - Oil and gas engineering and technology, field of knowledge 18 - Production and technology - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2020.

Prolonged operation of the transit gas transmission system in the conditions of incomplete loading provides frequent changes of volumes of gas transportation that causes need in operative forecasting of stationary modes of work of system. To predict the behavior of the gas transport system in the conditions of changing operating modes, it is important to assess the condition of pipelines and compressor stations in order to select the optimal operating mode. This task requires a detailed inspection of the elements of the gas transmission system, which involves significant time. Therefore, the topical issue is the creation of simplified methods for assessing the hydraulic condition of the gas transmission system and operational forecasting of stationary modes of its operation.

The purpose of the dissertation is to establish the patterns of technological processes in gas transmission systems to optimize the operational management of operating modes under the condition of their incomplete loading.

Methods of creation of mathematical models of technological processes of gas transportation by systems of main gas pipelines are offered, characteristics of principles of modeling of stationary and nonstationary processes are resulted.

Based on the study of stationary modes of operation of the gas transmission system with frequent changes in gas pumping volumes, the principle of building mathematical models for operational control of the GTS is proposed, which is characterized by sufficient accuracy and high speed of forecast parameters. The models are based on the method of integrated coefficients of influence, which are determined by the parameters of the previous modes. This allows you to quickly determine the pressure and flow of gas at any point in the system [3].

A mathematical model of the gas pipeline is constructed taking into account the influence of compressor stations on the basis of classical equations of gas flow energy and continuity using the functions of the Dirac source. The implementation of the created mathematical model by applying the integral Fourier and Laplace transforms allowed to obtain in analytical form the dependence that reflects the law of fluctuations in time of mass flow of gas in the initial and final cross section of the pipeline. The constructed dependences of the gas transmission system productivity trend at its beginning and end showed the influence of compressor station placement in the gas transmission system, in particular its serial number on the route, on the nature and duration of non-stationary process caused by its shutdown. It is recommended to use the obtained results when forecasting the modes of operation of gas transmission systems under the condition of their incomplete loading [5,6].

At incomplete loading of system process of formation of depression of pressure at each current moment at change of size of productivity is nonstationary and is characterized by fluctuations of pressures with a certain frequency and amplitude. Superposition of pressures at the upper limit line of depression can lead to exceeding the initial pressure above the allowable. To prevent overloading of the

pipeline, it is proposed to reduce the initial pressure relative to the maximum. The calculated dependence is obtained on the basis of the results of modeling of the non-stationary process with the use of actual data of non-stationary processes in the gas pipelines of the trans-Ukrainian gas transmission system.

Significant changes in the amount of gas flow, and, as a consequence, the parameters of the mode of operation of gas pipelines have a significant impact on the hydraulic state of the linear part, which is characterized by the actual value of the coefficient of hydraulic resistance. Known diagnostic methods are unacceptable for operational prognosis, as they require additional information about the change in pressure and significant implementation time. Therefore, simplified methods based on non-stationary models are proposed. Among them are the method of lowering the order of diffractions and the method of taking into account changes in velocity. Their application gives more reliable results than averaging methods.

An important parameter used in the system for diagnosing main gas pipelines is the speed of sound propagation in the gas, which is considered constant in length and time. The result of diagnosing the coordinates of the emergency gas leak, the calculated value of the duration of the non-stationary process, the range of pressure fluctuations, etc. depend on its value.

The study of the nature of the change in the speed of sound in the gas in order to improve the diagnosis is based on the equation of energy of the gas flow. Based on the analysis of the process of gas movement in the pipeline, taking into account the thermodynamic properties, the formula for the dependence of the speed of sound on the technological parameters (pressures and temperatures) for a homogeneous medium is obtained [1,2].

When changing the characteristics of the environment (transition to heterogeneous), the speed of sound changes according to Wood's formula.

In order to predict the amplitude of pressure fluctuations in a non-stationary process and to prevent resonant phenomena while the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics.

At diameters more than 500 mm and lengths more than 50 km. the range of natural frequencies is in the range from 0.1 to 20 1 / h ,. Actual frequency change range 965 - 1585 1 / h. Therefore, in real cases, the resonance phenomenon is not typical for main gas pipelines [2].

The optimal mode is a mode for which the criterion of optimality, which characterizes the energy consumption of transport, takes the minimum value. It is proposed to divide the energy consumption of gas for transport, which can be expressed in equivalent volumes of gas as an energy carrier, into the cost of fuel gas to drive gas pumping units, which is proportional to its capacity, and the cost of process gas to maintain pressure in pipelines. Then the minimum energy consumption will correspond to the minimum total gas consumption, which is the sum of fuel and process gas. Increasing the amount of process gas in the pipes leads to an increase in operating pressures, and, consequently, to a reduction in energy losses during transport, and therefore to a reduction in fuel gas consumption. Therefore, in the optimal mode, the amount of fuel and process gas consumption is minimal. The proposed principle of mode optimization is implemented by the method of competing options, which differ in the maximum operating pressures [4].

Control of the modes of the gas transmission system is reduced to the control of the modes of operation of compressor stations, taking into account the possibility of their operation or temporary shutdown.

The principle of optimal control of the modes of operation of a multi-shop compressor station is based on the uniform distribution of energy load between the shops and thus ensuring the operation of each of the units in a mode close to the nominal [7].

The task of finding the optimal version of the multi-shop compressor station is the task of finding the optimal plan for the distribution of loads between its individual shops. This is based on a minimum of total energy costs, taking into account the relevant technological constraints.

Keywords

Gas transmission system, incomplete loading, diagnostics, optimization of modes compressor station, gas pumping unit

Список публікацій здобувача

1. Грудз В.Я., Грудз В.Я. (молодший) Удосконалення методу діагностування витоків з газопроводу на основі дослідження процесу розповсюдження збурень. Прикарпатський вісник НТШ. Число. – 2017 - №1(37) – С.217 - 225
2. Грудз В.Я., Грудз В.Я. (молодший) Детерміновані методи оптимізації експлуатаційних режимів газотранспортних систем. Прикарпатський вісник НТШ. Число. – 2017 - №2(38) – С.236 – 246
3. Крижанівський Є.І., Грудз В.Я., Грудз .В.Я.(молодший), Терещенко Р.В. Прогнозування стаціонарних режимів роботи систем газопостачання методом інтегральних коефіцієнтів. //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. №2(71), 2019. С. 71 – 76.
4. Крижанівський Є.І., Грудз В.Я., Грудз .В.Я.(молодший), Терещенко Р.В., Говдяк Р.М. Оптимізація режимів компресорних станцій за умови їх неповного завантаження. //Нафтогазова енергетика. 2019.№1(31). С. 36-42.

5. Грудз В.Я., Грудз В.Я. (молодший) Нестационарні процеси в газотранспортних системах за умови їх неповного завантаження.// Матеріали 6-тої Міжнародної науково-технічної конференції Нафтогазова енергетика. 2017. Івано-Франківськ. 15-19 травня 2017. С.213.
6. Grudz V.Ya. NON-STATIONARY PROCESSES IN THE GAS TRANSMISSION SYSTEMS AT COMPRESSOR STATIONS SHUT-DOWN [Text] / V.Ya. Grudz*, V.Ya. Grudz (junior), V.B. Zapukhlyak, Ya.V. Kyzymyshyn // Journal of hydrocarbon power engineering. – 2018. – №1(5). – P. 22-28.
7. Zapukhliak V. MATHEMATICAL MODELING OF UNSTEADY GAS TRANSMISSION SYSTEM OPERATING CONDITIONS UNDER INSUFFICIENT LOADING [Text] / V. Zapukhliak, L. Poberezhny, P. Maruschak, V. Grudz Jr., R. Stasiuk, J. Brezinová, A. Guzanová // Energies. – 2019 – Volume 12, Issue 7 (April-1 2019). – P. 1–14. EISSN 1996-1073 (SCOPUS)