

P. V. Manko,

P. P. Korol

**ASPECTS OF INTEGRATION OF NGS OF UKRAINE  
INTO GLOBAL GRAVIMETRIC SYSTEM**

*The historical aspects of formation and current state of operation of the national gravimetric network in Ukraine are analyzed. Necessity of creating precision gravimetric network in Ukraine is grounded. For compare, the structures of fundamental gravimetric networks of neighboring European countries, including Poland and Germany are considered. The necessity of creation of precise gravimetric network in Ukraine was shown. The recommendations regarding the modernization of UNGS by compaction a network of bases points for its integration into the global and European gravimetric system were given. In particular, in the program of GHS Ukraine development the creation of 15 fundamental gravity points is provides and variant of build Ukrainian DFHM as a latitude-longitudinal scheme with the presence of two quasiorthogonal gravity bases: latitudinal (Kharkiv-Dnipropetrovsk-Simferopol) and longitudinal (Kharkiv-Poltava-Kiiv-Rivne-Lutsk) are proposed. In the future, the creating a second longitudinal basis (Uzhgorod-Ivano-Frankivsk-Vinnitsa-Kirovograd-Zaporizhzhya-Donetsk) is proposed.*

**Keywords:** state gravimetric network of Ukraine, the precision of gravimetric networks, gravimetric survey.

Надійшла до редакції

25.02.2016

УДК 528.48

**В. К. Чибіряков**, д-р техн. наук, професор,  
**В. С. Староверов**, канд. техн. наук, професор,  
**К. О. Нікітенко**, аспірант кафедри інженерної геодезії  
Київський національний університет будівництва і архітектури

**ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-  
ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ  
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ**

*Розглянуто та проаналізовано методи впливу геологічних процесів на магістральні газопроводи, а також загальний порядок визначення напружено-деформованого стану (НДС) магістральних газопроводів в ґрунтовій основі.*

*Для оцінювання НДС магістрального газопроводу використано модель балки на пружній основі при згині. Розв'язано систему рівнянь з певними граничними умовами за допомогою ефективного чисельного методу С.К. Годунова.*

© В.К. Чибіряков, В.С. Староверов,  
К.О. Нікітенко, 2016

*Моделювання точності на такому рівні гарантує фіксацію деформацій конструкції та ґрунтового масиву.*

*Використано методологію, що дає змогу прогнозувати вплив небезпечних геологічних процесів на газопровід, запропоновано рекомендації щодо підвищення точності виконання геодезичних робіт у небезпечних геологічних умовах.*

**Ключові слова:** магістральний газопровід (МГ), напружено-деформований стан (НДС), прогин газопроводу.

**Вступ.** Досвід експлуатації магістральних газопроводів свідчить, що недооцінка впливу таких факторів, як кріогенні процеси, зсуви, водно-ерозійні, гравітаційні процеси та інші чинники призводять до руйнування газопроводів, що спричинює економічні витрати, а також забруднення навколишнього середовища.

Найважливішою складовою, від якої залежить міцність трубопроводу, є напружено-деформований стан газопроводу і його зміна під впливом експлуатаційних і природно-кліматичних факторів. Таким чином, за результатами оцінювання та моніторингу НДС лінійної частини газопроводів можна знизити рівень напружень в трубопроводі й уникнути аварійної ситуації. Це зумовлює потребу в розробленні та вдосконаленні інженерно-геодезичних методів моніторингу магістральних газопроводів.

Основними транзитними напрямками газотранспортної системи України є і надалі залишатимуться магістральні газопроводи «Союз», Уренгой – Помари – Ужгород, «Прогрес» та система газопроводів Єлець – Кременчук – Ананьїв – Ізмаїл.

Ці магістралі є джерелами підвищеної небезпеки як з погляду екології, так і можливого виникнення надзвичайної ситуації внаслідок аварій на газопроводах.

Для надійної експлуатації магістральних газопроводів і розроблення захисних заходів треба мати об'єктивну і достовірну інформацію про деформації газопроводу, а також про зсувні та ерозійні явища.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є аналіз оцінки визначення напружено-деформованого стану на ділянках магістрального газопроводу Уренгой — Помари — Ужгород (УПУ) в ґрунтовому масиві. Визначення максимально допустимих значень прогинів трубопроводів дасть змогу вирішити актуальну наукову проблему моделювання точності геодезичних робіт.

**Основна частина.** Особливими навантаженнями і впливами на магістральні газопроводи звичайно називають ті, які виникають унаслідок селевих потоків, деформацій земної поверхні в карстових районах і районах підземних виробок, а також деформацій ґрунту, що супроводжуються зміною його структури. Такі навантаження слід визначати на підставі даних аналізу ґрунтових умов і їх можливого з'ясування в процесі будівництва й експлуатації газопроводу.

Для того щоб провадити геодезичний моніторинг, треба мати уявлення про хоча б наближений рівень та характер напружено-деформованого стану. Саме з цього можна визначити потрібну точність геодезичних досліджень та їх оптимальну технологію.

Для встановлення функціональних зв'язків між величинами деформацій та властивостями ґрунтового масиву необхідно врахувати всі навантаження і впливи на магістральний газопровід [1].

Моделювання геодезичної точності робіт залежить від визначення характеристик напружено-деформованого стану трубопроводу і ґрунтових масивів.

Моделюючи напружено-деформований стан, виходять з того, що внаслідок додаткового навантаження конструкція зміщується, при цьому її матеріал деформується і в ній виникають внутрішні сили пружної взаємодії матеріальних частинок, котрі, діючи на сусідні частинки, їх прискорюють. Цей процес поступово зупиняється через розсіяння енергії деформування в матеріалі, і настає рівновага між внутрішніми і зовнішніми силами.

Математичне моделювання охоплює ряд задач з вибору розрахункової моделі конструкції і процесів, визначення взаємодії фізичних характеристик цієї моделі і побудову алгоритму чисельного моделювання поставленого завдання.

Залежно від механізму і типу процесу обирають моделі поведінки досліджуваного об'єкта.

Механічні ушкодження є значними концентраторами напружень у трубопроводах. Ступінь концентрації напружень в металі поблизу цих дефектів визначається їх геометричними розмірами (кут, тріщини, глибина і діаметр ум'ятини та ін.), їх взаємним розміщенням на поверхні труби і типом ушкоджень. Вплив механічних ушкоджень на працездатність труби залежить від концентрації напружень і деформацій [2].

Під час зсувів зростання тиску ґрунту на трубу спричинює в ній непередбачені додаткові навантаження і знижує її здатність чинити опір внутрішнім і зовнішнім навантаженням, а раптові динамічні удари по трубі, особливо перпендикулярно її осі, можуть викликати напругу, що перевищує допустимі показники за СНиП III – 42 – 80 \* [3].

Для того щоб проводити геодезичний моніторинг досить ефективно, треба мати хоча б наближене уявлення про рівень і характер НДС газопроводу. Саме з цього можна визначити необхідну точність геодезичних досліджень й оптимальну технологію їх виконання.

Розрахунковою математичною моделлю газопроводу є система звичайних диференціальних рівнянь, розрахункові функції яких повинні задовольняти певним граничним умовам, які випливають з умов закріплення газопроводу.

Використання досить простої і в той же час достатньо адекватної розрахункової моделі магістрального газопроводу дає змогу орієнтуватися в рівні його напружено-деформованого стану, що потрібно для визначення оптимальної точності геодезичного моніторингу.

Простою розрахунковою моделлю магістрального газопроводу може бути модель балки на пружній основі при згині. У такому разі НДС газопроводу можна описати як одновимірний напружено-деформований стан балки, тобто одновимірної системи, яка є прямою і збігається з поздовжньою віссю газопроводу.

Вплив ґрунту, що знаходиться нижче від газопроводу, визначають за гіпотезою Вінклера – Фусса (рис. 1).

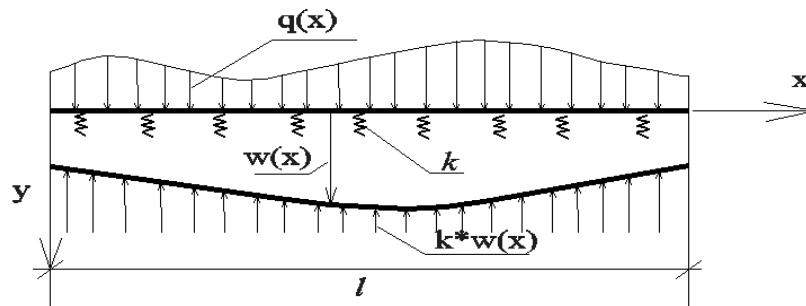


Рис.1. Розрахункова модель магістрального газопроводу:  $q(x)$  – зовнішнє навантаження;  $k$  – коефіцієнт постелі ґрунту;  $l$  – розрахункова довжина ділянки газопроводу;  $h$  – шар ґрунту;  $w$  – прогин газопроводу

Стан балки на пружній основі можна описати системою диференціальних рівнянь, у яких беруть до уваги кінематичні фактори:

- вертикальне переміщення  $w(x)$ ;
- горизонтальне переміщення  $U(x)$  (у разі зсуву);
- кути повороту перерізів  $\varphi(x)$ ;
- нормальна сила  $N(x)$ ;
- перерізуюча сила  $Q(x)$ ;
- згинальний момент  $M(x)$ .

Розрахункові функції в кінцевих точках розрахункової моделі  $x = 0$  і  $x = 1$  повинні бути заданими (граничні умови):

- $U = 0, w = 0, \varphi = 0$  - якщо кінець жорстко затиснений;
- $U = 0, w = 0, M = 0$  - якщо є шарнірне обпирання;
- $N = 0, Q = 0, M = 0$  - якщо кінець не закріплений.

Така система диференціальних рівнянь має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dU}{dx} = \frac{N}{EF} \\ \frac{dw}{dx} = \varphi \\ \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M}{EI_x} \\ \frac{dN}{dx} = -k \cdot U - q(x) \\ \frac{dQ}{dx} = \begin{cases} -q(x) + k \cdot w(x) & (x < a) \\ -q(x) + k \cdot w(x) + k_3 \cdot w_3(x) & (x > a) \end{cases} \\ \frac{dM}{dx} = Q \end{array} \right. \quad (1)$$

Для розв'язання цієї системи рівнянь з певними граничними умовами застосовують ефективний чисельний метод С.К. Годунова, який дає можливість отримувати результати з будь-якою точністю.

Згідно з методом ортогонального прогону С.К. Годунова (метод дискретної ортогоналізації) газопровід представляється у вигляді балкової

системи, що деформується в пружному середовищі. Чисельний метод розв'язання, оснований на зведенні крайової задачі до задач Коші, забезпечує чисельну стійкість обчислювального процесу завдяки ортогоналізації [4].

У результаті розв'язання цієї системи рівнянь відповідно до конкретних граничних умов одержуємо різні величини  $dU$ ,  $dw$ ,  $d\varphi$ ,  $dN$ ,  $dQ$ ,  $dM$ , що дає можливість диференційовано підходити до обґрунтування точності геодезичних робіт. Отже, через величину прогину  $W(x)$  газопроводу можна визначити граничний стан конструкції, тобто гранично допустимі деформації положення газопроводу  $\Delta_{w(x)}$ .

Застосовуючи таку методологію, можна спрогнозувати вплив небезпечних геологічних процесів на газопровід, а також підготувати рекомендації й обґрунтувати точність виконання геодезичних робіт, тобто змодельовати точність на такому рівні, який дає змогу прогнозувати деформації конструкції і ґрунтового масиву.

Використання описаної досить простої в той же час досить адекватної математичної моделі магістрального газопроводу дає змогу орієнтуватися в рівні його напружено-деформованого стану, отже, перейти до визначення оптимальної точності геодезичного моніторингу.

Таким чином, точність геодезичних робіт під час моніторингу магістральних газопроводів залежить від повноти охоплення всіх факторів у процесі моделювання напружено-деформованого стану, зокрема і тих, які були притаманні під час будівництва.

Похибки геодезичних робіт змінюють напружено-деформований стан і мають бути враховані під час створення фізичної моделі споруди.

Отже, точність геодезичних робіт повинна бути визначена ще на стадії проектування споруди, інакше неприпустимі помилки можуть спричинити значне зниження надійності, зменшення міцності і довговічності. Спроба забезпечити належну міцність шляхом збільшення коефіцієнтів запасу з багатьох причин не дає повної гарантії якості і призводить до зростання непродуктивних витрат праці і матеріалів [5].

Зважаючи на викладене, можна запропонувати такі рекомендації з організації геодезичних спостережень за напружено-деформованим станом магістральних газопроводів в ґрунтовій основі:

1. Якщо в процесі рекогносцировки траси газопроводу будуть виявлені ділянки з рухливим ґрунтом, то на цих ділянках потрібно встановити постійні станції спостереження, розміщені поза зоною впливу переміщень ґрунту.

2. У разі значних ґрунтових зрушень перед початком детальних досліджень потрібно попередньо закріпити ряд контрольних марок у місцях прояву НДС газопроводу.

3. Для виконання спостережень за деформаціями слід створити планово-висотну локальну геодезичну мережу. Схема і точність геодезичної мережі і методика спостережень залежить від розміру досліджуваної ділянки, протяжності небезпечної в деформаційному відношенні ділянки. Для дослідження деформацій газопроводів потрібно запроектувати планову геодезичну основу, точність якої визначають залежно від напружено - деформованого стану.

**Висновок.** Оцінювання напружено-деформованого стану магістральних газопроводів із застосуванням методів фізичного і математичного моделювання та подальшим розв'язанням крайових задач дають змогу визначити місця максимально допустимих напружень, а також можливі характеристики деформацій кожної ділянки газопроводу. Завдяки отриманим результатам можна обґрунтовано обрати місця розташування для контрольних марок, визначити необхідну точність вимірювань й оцінити стан будівельної конструкції та споруди загалом на час спостережень.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рудаченко А. В. Исследование напряженно-деформированного состояния трубопроводов / А. В. Рудаченко. - Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. – 136 с.
2. Бородавкин П. П. Сооружение магистральных трубопроводов. / П.П. Бородавкин, В. Л. Березин. – М.: НЕДРА, 1977. – 401 с.
3. СНиП III-42-80\* Магистральные трубопроводы. - М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. – 224 с.
4. Годунов С. К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений / С.К. Годунов // Успехи математических наук. – 1961. - №3. – 174 с.
5. Егоров А. И. Обоснование точности геодезических работ при строительстве и эксплуатации сооружений башенного типа на основе напряженно-деформированного состояния: дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01 / Егоров Александр Иванович. - К., 2001 – 144 с.

### REFERENCES

1. Rudachenko, A.V. (2011). *Issledovanie napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovoda [Investigation of the stress-strain state of the pipelines]*. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University [in Russian].
2. Borodavkin P.P., Berezin V.L. (1977) *Souruzheniya magistlyanyh gazoprovodov [Construction of main pipelines]*. Moscow : Ministry of Regional Russia Development [in Russian]
3. SNIP III-42-80 \*(2012). *Magistralnue tryboprovodu [Major Pipelines]*. Moscow: Ministry of Regional Development [in Russian].
4. Godunov S.K. (1961) *O chislennom reshenii kraevykh zadach dlya system lineynukh obyknovennykh diferencialnykh uravneniy [On the numerical solution of boundary value problems for systems of linear ordinary differential equations]*. *Russian Mathematical Surveys*,3,174 [in Russian].
5. Egorov A.I.(2001) *Obosnovanie tochnosti geodezicheskikh rabot pri stroitelstve i ekspluatatsii sooruzheniy bashennogo tipa na osnove napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya [Justification precision geodetic works in the construction and operation of buildings tower on the basis of the stress-strain state]*. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kiev [in Ukrainian].

**В. К. Чибиряков,  
В. С. Староверов,  
К. О. Никитенко,**

**ОБЩИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ГАЗОПРОВОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ  
ИЗМЕРЕНИЯ**

*Рассмотрены и проанализированы методы воздействия геологических процессов на магистральные газопроводы, а также общий порядок определения напряженно-деформированного состояния магистральных газопроводов в грунтовой основе. Для оценки НДС магистрального газопровода использована модель балки на упругом основании при изгибе. Решена система уравнений с определенными граничными условиями с помощью эффективного численного метода С.К. Годунова. Моделирование точности на таком уровне обеспечивает фиксацию деформаций конструкции и грунтового массива. Использована методология, которая позволяет прогнозировать влияние опасных геологических процессов на газопровод, предложены рекомендации по повышению точности выполнения геодезических работ в опасных геологических условиях.*

**Ключевые слова:** магистральный газопровод (МГ), напряженно-деформированное состояние (НДС), прогиб газопровода.

**V.K. Chibiriakov  
V.S. Staroverov  
K.O. Nikitenko**

**GENERAL APPROACH TO MODELING STRESS-STRAIN STATE GAS  
MAINS TO DETERMINE THE GEODETIC MEASUREMENT ACCURACY**

*Reviewed and analyzed the impact of the existing methods of geological processes on the pipe, as well as the general procedure for determining the stress-strain state of the main gas pipelines in the ground-based. To assess the NDS main gas used model beams on elastic foundation under bending. We solve the system of equations with certain boundary conditions through effective numerical method S.K. Hodunova. The modeling accuracy at this level provides a record of the construction and deformation of the soil mass. Used methodology to predict the impact of hazardous geological processes in the pipeline and recommendations for improving the accuracy of geodetic measuring in difficult geological conditions was given.*

**Keywords:** gas pipeline (MG), the stress-strain state, the deflection of the pipeline.