

СТАЦИОНАРЕН ГАЗОДИНАМИЧЕН МОДЕЛ НА ПРОЦЕСИТЕ ПРОТИЧАЩИ В ГАЗОПРОВОДИТЕ ЗА ПРИРОДЕН ГАЗ

Мариан Н. Мутафчиев

marian_mutafchiev@abv.bg

Висше транспортно училище "Тодор Каблешков"

Катедра "Транспортна техника"

Ул. "Гео Милев" 158 София 1574,

БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: газопровод, стационарен газодинамичен модел

Резюме: Представен е математичен модел на газодинамичните процеси протичащи в газопроводите за природен газ при стационарна постановка на задачата.

За описание на изменението на основните термодинамични параметри в газопроводи за природен газ ще бъде използвана системата от основните газодинамични уравнения [1, 2, 3]. Уравнението на непрекъснатостта, уравнението на движението и уравнението на енергийния баланс образуват система уравнения от хиперболичен тип която в общия случай има следния вид:

$$(1) \left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + w \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\rho w}{f} \frac{\partial f}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial w}{\partial t} + w \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{F}{\rho f} + g \frac{\partial h}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial p}{\partial t} + w \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{1}{a^2} \left(\frac{\partial p}{\partial t} + w \frac{\partial p}{\partial x} \right) + dq. \end{aligned} \right\}$$

където: ρ е плътността на газа; w - скоростта на газа; p - налягането на газа; a - местната скорост на звука; F - съпротивлението от триене; f - площта на проходното сечение на тръбата; dq - функцията на топлообмена.

Газопроводите са с постоянен диаметър на тръбата така, че $\frac{\partial f}{\partial x} = 0$. При установено течение, параметрите не се променят във функция от времето което означава, че $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$, $\frac{\partial w}{\partial t} = 0$, $\frac{\partial p}{\partial t} = 0$. В първо приближение може да се пренебрегнат топлообмена $dq = 0$, и влиянието на геодезическата разлика $g \frac{\partial h}{\partial x}$. При тези предпоставки системата (1) придобива следния вид:

$$(2) \quad \left. \begin{aligned} w \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial w}{\partial x} &= 0; \\ w \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{F}{\rho f} &= 0; \\ \frac{\partial \rho}{\partial x} &= \frac{1}{a^2} w \frac{\partial p}{\partial x}. \end{aligned} \right\}$$

След комбиниране на първото и третото уравнения и преобразуване на второто се получава:

$$(3) \quad \left. \begin{aligned} \frac{w}{a^2} \frac{\partial p}{\partial x} + \rho \frac{\partial w}{\partial x} &= 0; \\ \rho \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{1}{w} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{F}{wf} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Като се елиминира производната на скоростта, от системата (3) се получава:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{a^2 F}{f(w^2 - a^2)}.$$

Като се премине в крайни разлики се получава израза за определяне на текущата стойност на налягането:

$$(4) \quad p_i = p_{i-1} + \frac{a_i^2 F_{i-1}}{f(w_{i-1}^2 - a_i^2)} \Delta x.$$

От второто уравнение на системата (3) се определя,

$$\frac{dp}{dx} = -w\rho \frac{dw}{dx} - \frac{F}{f},$$

и се замества в първото, при което се получава:

$$\frac{dw}{dx} = \frac{wF}{\rho f(a^2 - w^2)}.$$

Като се премине в крайни разлики се получава израза за определяне на текущата стойност на скоростта:

$$(5) \quad w_i = w_{i-1} + \frac{w_{i-1} F_{i-1}}{\rho f(a_i^2 - w_{i-1}^2)} \Delta x.$$

От третото уравнение на системата (2) се определя плътността:

$$d\rho = \frac{1}{a^2} dp.$$

Като се премине в крайни разлики се получава израза за определяне на текущата стойност на плътността:

$$(6) \quad \rho_i = \rho_{i-1} + \frac{1}{a_i^2} (p_i - p_{i-1})$$

Съпротивителната сила действаща на единица дължина се определя с израза [1, 2]:

$$F = \frac{\lambda}{D} \frac{w_i^2}{2},$$

където: λ е коефициент на триене; D - вътрешния диаметър на тръбата.

Текущата стойност на температурата се определя с уравнението на състоянието,

$$T_i = \frac{p_i}{R\rho_i}.$$

Текущата стойност на звуковата скорост се определя с израза:

$$a_i = \sqrt{kRT_i}$$

Мощността на потока се определя чрез следната проста зависимост:

$$N_{\text{пот}} = p \frac{fx}{t} = p \frac{V}{t} = p \dot{V} = p \frac{\dot{m}}{\rho},$$

където: t е времето за което фронта на потока се премества на разстояние x ; V - обема на флуида преминал през проходното сечение f ; \dot{V} - обемния дебит.

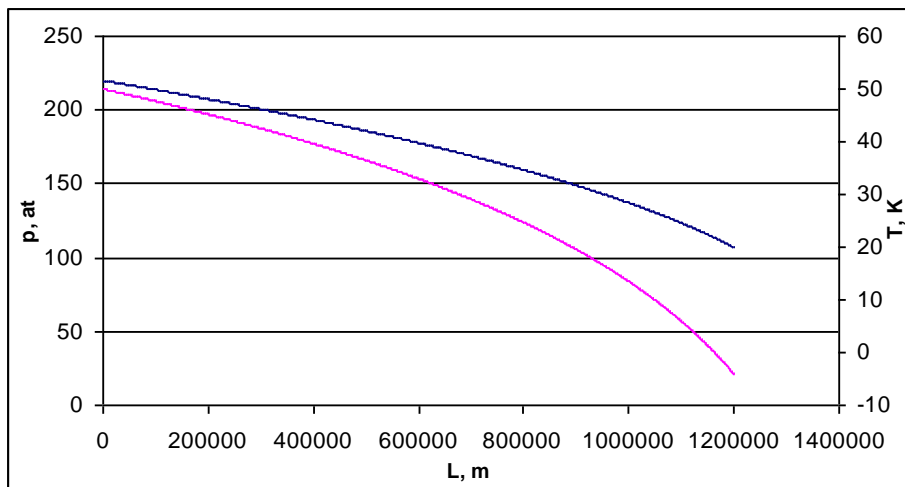
Поради големите стойности на мощността в случая е по-удобно горната формула да се използва в следния вид:

$$N_{\text{пот}} = p \frac{\dot{m}}{\rho} \cdot \frac{1}{1000000}, \text{ MW.}$$

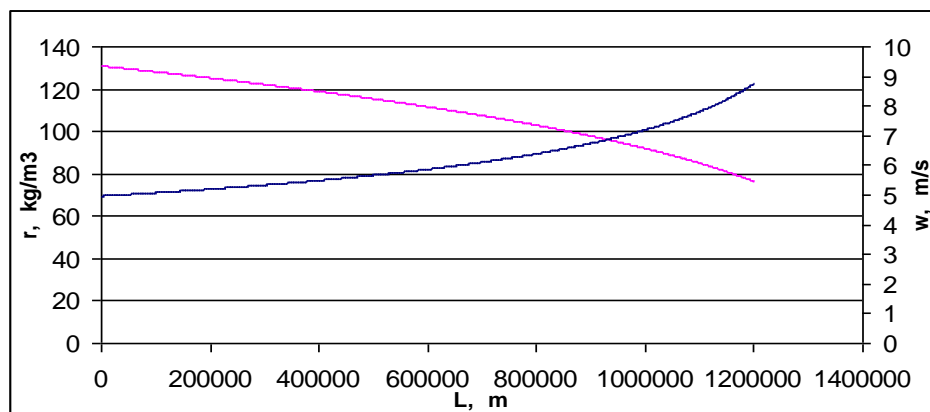
За проверка на работоспособността на представената по-горе методика са използвани данни за два реализирани газопровода, „Северен поток” и „Син поток”. Данните са взети от официалния сайт на Газпром [<http://www.gazprom.ru/about/production/projects/pipelines/active/>]. По-важните резултати от изчисленията са показани по долу в графичен вид.

На фиг. 1 е показано изменението налягането и температурата по данни за „Северен поток”. Вижда се, че в края на тръбата температурата става отрицателна но е твърде далеч от температурата на втечняване на метана така, че опасност от втечняване няма.

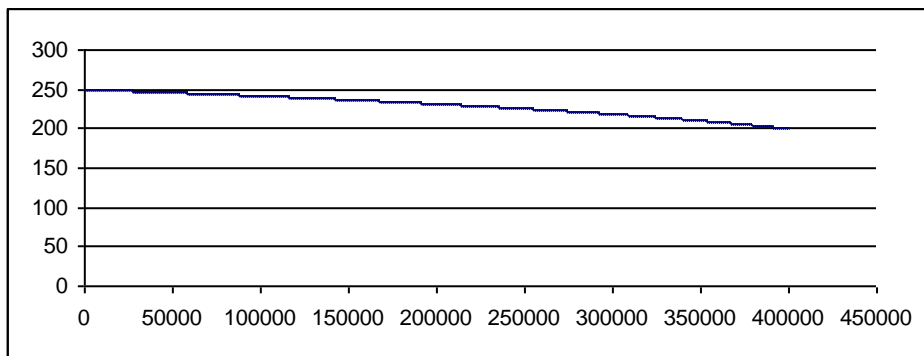
На фиг.2 е показано изменението на плътността и скоростта на газа по данни за „Северен поток”. Вижда се, че плътността намалява а скоростта расте в пълен синхрон с налягането и температурата.



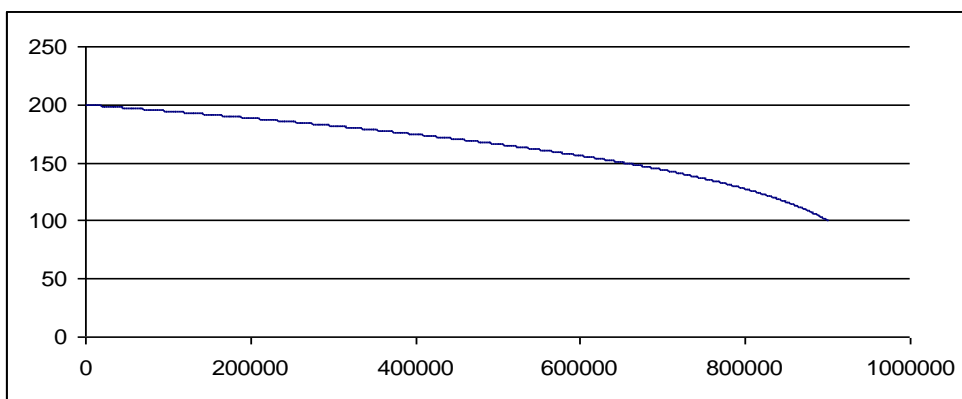
Фиг. 1. Изменение на налягането (горе) и температурата на газа по данни за „Северен поток”



Фиг. 2. Изменение на плътността (горе) и скоростта на газа по данни за „Северен поток”

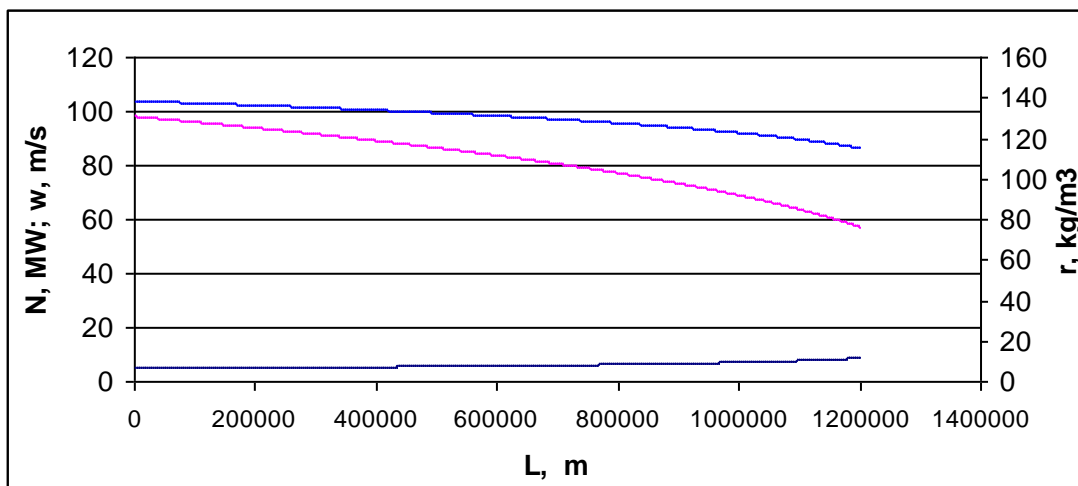


Фиг. 3. Изменение на налягането на газа по данни за морската част на „Син поток”

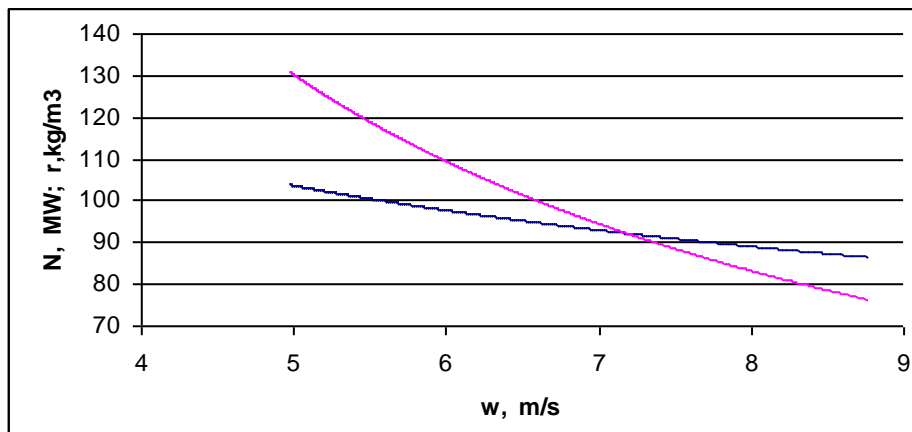


Фиг. 4. Изменение на налягането на газа по данни за нереализирания „Южен поток”

На фиг. 3 е показано изменението налягането на газа по данни за морската част на „Син поток”, а на фиг. 4 е показано как би изглеждало изменението налягането на газа за „Южен поток” ако беше реализиран.



Фиг. 5. Изменение на мощността на потока (горе), плътността на газа (средната крива) и скоростта на газа (долу) по данни за „Северен поток”



Фиг. 6. Изменение на мощността на потока (долната крива) и плътността на газа във функция от скоростта, по данни за нереализирания „Южен поток“

В заключение може да се каже, че представените уравнения и методика имат достатъчно високо ниво на достоверност и са особено подходящи за началните етапи на проектиране на газопроводи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1.] **Fox J. A.** Hydraulic analysis of unsteady flow in pipe networks London, 1977. Руский перевод, Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. Москва, Энергоиздат, 1981. 248 с.
- [2.] **Грачов В. В.** Применение метода характеристик для расчета неустановившегося движения воздуха в тормозной магистрали поезда. - от личния архив на автора.
- [3.] **Мутафчиев М. Н.** Дисертация за получаване на научна степен „Доктор на науките“ на тема „Математично моделиране на процесите, протичащи в цевните оръжия и топлинните двигатели“ 2016.

STATIONARY GASODYNAMIC MODEL OF PROCESSES RUNNING IN NATURAL GAS TUBES

Marian N. Mutafchiev
marian_mutafchiev@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
 158 Geo Milev Street, Sofia,
 BULGARIA*

Key words: Gas pipeline, stationary gas dynamics model

Abstract: A mathematical model of the gas dynamics processes occurring in the natural gas pipelines is presented in the stationary setting of the task