

## Magistral boru kəmərlərində metan sızmasının aşkarlanması üçün yeni üsul

R.Ə. Eminov, t.e.n.,  
M.M. İsmayılov  
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

e-mail: eminovramiz@mail.ru

**Açar sözlər:** metan sızması, magistral boru, aerosol, optik qalınlıq, su buxarı.

DOI.10.37474/0365-8554/2021-2-22-25

### Новый метод обнаружения утечки метана из магистральных трубопроводов

Р.А. Эминов, к.т.н., М.М. Исмаилов  
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

**Ключевые слова:** утечка метана, магистральный трубопровод, аэрозоль, оптическая толщина, водной пар.

За последние 200 лет общее содержание метана в атмосфере возросло в два раза. Начиная с 1990-х гг. годовые темпы роста метана резко увеличились. Исторически утечек метана в атмосферу являются также резервуары хранения этих газов, различные нефтеперерабатывающие предприятия, магистральные трубопроводы и транспортные средства, осуществляющие их транспортировку.

Разработан новый метод обнаружения утечки метана из магистральных трубопроводов и показан порядок его реализации. Дан математический алгоритм этого метода и получена формула вычисления оптической толщины метана над трассой. Полученная формула дает возможность диагностирования утечек в газовых трубопроводах на расстоянии. Составлена блок-схема операционного алгоритма реализации предлагаемого метода.

### New method for detection of methane escape from the main pipelines

R.A. Eminov, Cand. in Tech.Sc., M.M. Ismayilov  
Azerbaijan State University of Oil and Industry

**Keywords:** methane escape, main pipeline, aerosol, optical thickness, water vapour.

Total methane content in the atmosphere has increased for two times during last two hundred years. Since 1990s, the annual rate of growth for methane dramatically increased. The sources of methane emissions to the air are their storage reservoirs, different oil-gas refineries, main pipelines and their transport facilities as well.

A new method for detection of methane escape from the main pipelines has been developed and the order of its realization shown. Mathematic algorithm of the method is presented and the calculation formula for optical thickness of methane over the track obtained. Obtained formula allows diagnosing the escapes in gas pipelines distinctly. Block-scheme of operation algorithm of the realization of offered method has been developed as well.

### Giriş

Məlumdur ki, boru kəmərlərində baş verən sızmaların dəqiq təyini üsullarından biri yüksək atmosfer təzyiqlərində toplanmış metanın (CH<sub>4</sub>) kontur xəttinin genişlənməsinin nəzərə alınmasıdır.

CH<sub>4</sub> optik radiasiya enerjisi özünə effektiv cəkmə bilan uzunömürlü buxar qazı hesab olunur [1]. Son 200 ildə atmosferdəki metanın ümumi miqdarı iki dəfə artıb, 1990-ci illərdən başlayaraq bu qazın illik artım tempi xeyli yüksəlib. 2012-ci ildə atmosferdəki CH<sub>4</sub>-ün orta toplusu 1.8 ppm qiymətinə çatmışdır. CH<sub>4</sub> toplusunun artma səbəblərindən biri bu qazın yer üzərindəki müxtəlif geoloji qırılmalar və vulkanlardan sızmaları hesab olunur. Bir ildə bu sızmaların həcmi təqribən 30 t təşkil edir [2]. Metan sızmasının başqa mənbələri kimi həmin qazların saxlanma rezervuarları, müxtəlif neft emalı müəssisələri, magistral boru kəmərləri və onları daşıyan nəqliyyat vasitələrinə qeyd etmək olar. Onlardan sızan qazları məsafədən ölçən spektrometrlər vasitəsilə aşkar etmək olar. Üfqi trassalar və həmçinin magistral boru kəmərləri boyu tətbiq olunan bu cihazların işi absorpsiyon spektroskopiyası prinsipinə əsaslanır. Bu prinsip fərdi halda xarici şüalandırıcılarla və onlarsız işləyən DOAC tipli cihazlarda realizə olunur. Məqalədə boru kəmərlərində sızmaları aşkar etmək üçün atmosfer təzyiqinin dəyişməsi təsirindən azad olunan yeni yüksəkdağıqlıqlı üsul təklif olunmuşdur.

### Müvədd üsulların təhlili

Təklif olunan üsulun şərhindən əvvəl 2.3 mkm diapazonunda CH<sub>4</sub>-ün absorpsiyon spektroskopiyası nəzəriyyəsinin əsasını qısaca nəzərdən keçirək.

Məlumdur ki, absorpsiyon spektroskopiyasının əsasını Buger-Ber qanunu təşkil edir. Bu qanuna əsasən buraxma əmsalı  $T(v)$  ( $v$  – tezlikdir,  $sm^{-1}$ ) olan optik şüalandırma qazlı mühitdən keçərək intensivliyinə görə eksponensial qanuna uyğun zəifləyir

$$I_v = I_0 T(v) = I_0 \exp(-kL), \quad (1)$$

burada  $I_0$  – qazlı mühitin girişində optik radiasiyanın başlanğıc intensivliyi;  $I_v$  – qazlı mühitin çıxışında zəifləmiş optik radiasiyanın intensivliyi;  $k_v$  – absorpsiyanın spektral əmsalı,  $sm^{-1}$ ;  $L$  – qazlı mühitdə optik radiasiyanın keçmə yolunun uzunluğu.

Absorpsiyanın spektral əmsalı bu düsturla təyin olunur [3]:

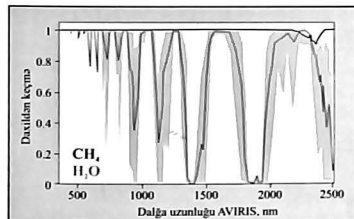
$$k_v = \sum_{i=1}^N S_i(T) \Psi_i(\Delta v, \nu) p x, \quad (2)$$

burada  $N$  – keçmələrin ümumi sayında optik radiasiyanın daxilə çəkilməsinə təsir edən keçmələrin sayı;  $p$  – mühitin ümumi təzyiqi, MPa;  $x$  – qaz toplusunun miqdarı, mol;  $S_i - T$  hərərətində  $i$  saylı keçmənin daxilə çəkilmə xəttinin uzunluğu,  $sm^2/MPa$  yaxud  $sm^{-1}/mol \cdot sm^2$ ;  $\Psi - \Delta v$  ninin funksiyası olan xətt konturunun normalaşmış formasıdır.

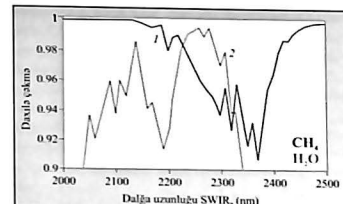
(1) düsturunda (2) düsturunu nəzərə alsaq aşağıdakını alarıq

$$\frac{I_v}{I_0} = \exp \left\{ - \left[ \sum_{i=1}^N S_i(T) \Psi_i(\Delta v, \nu) p x L \right] \right\}. \quad (3)$$

Qeyd olunduğu kimi, 2.4–2.5 mkm dalğa uzunluğunda CH<sub>4</sub> toplusunun məsafədən ölçülməsində əsas maneə faktoru su buxarlarıdır. Modtran 5.3 modeli əsasında hesablanmış CH<sub>4</sub>-ün və H<sub>2</sub>O-nun (su buxarları) daxilə keçmə spektrləri şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Modtran 5.3 modeli əsasında hesablanmış CH<sub>4</sub>-ün və H<sub>2</sub>O-nun daxilə keçmə spektrləri



Şəkil 2. 2.2–2.5 mkm diapazonunda daxilə çəkmə spektrləri:

1 – su buxarları; 2 – metan

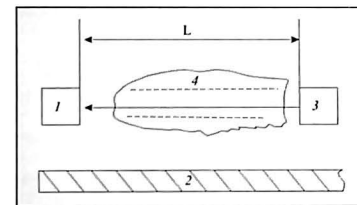
Şəkil 2-də 2.2–2.5 mkm diapazonunda su buxarları və metanın daxilə çəkmə spektrləri göstərilmişdir.

Su buxarları ən zəif daxilə çəkməni 0.60 və 0.66 mkm dalğa uzunluqlarında təvədir [4]. Bu proses 0.73, 0.82 və 0.91 mkm dalğa uzunluqlarında bir qədər güclənir və 0.94-lə 1.14 mkm qiymətlərində maksimuma çatır. 1.375, 1.90 və 2.5 mkm dalğa uzunluqlarında su buxarlarının etdiyi daxilə çəkmə obyektin qaytarma xassələrini bərpə etməyə imkan verir.

### Məsələnin həlli

Bu məqalədə magistral boru kəmərlərində CH<sub>4</sub>-ün sızmasını aşkarlamaq məqsədilə onun toplusunu ölçə bilən yeni trassalı ölçmə üsulu təklif olunur. Bu üsul aşağıdakı qaydada həyata keçirilir.

1. Magistralın başlanğıcında quraşdırılmış şüalandırıcı vasitəsilə məlum uzunluqlu məsafə üzərində havanın optik qalınlığının trassalı ölçülməsi yerinə yetirilir (şəkil 3).



Şəkil 3. Magistral üzərində aparılan ölçmələrin sxematik təsviri:

1 – qabuledici; 2 – boru kəməri; 3 – şüalandırıcı; 4 – metan buludcu

Ölçmə  $2.3 \pm 0.3$  mkm diapazonunda aparılır və uzunluğu  $L$  olan magistral boyu havanın optik qa-

İnliyi  $\tau_0$  belə təyin olunur:

$$\tau_{0(2,3)} = \tau_{CH_4(2,3)} + \tau_{w,v(2,3)} + \tau_{acr(2,3)} \quad (4)$$

burada  $\tau_{CH_4}$  – uzunluğu  $L$  olan magistral boyu  $\lambda_1 = 2.3$  mkm dalğa uzunluğunda  $CH_4$ -ün optik qalınlığı;  $\tau_{w,v(2,3)}$  – su buxarının optik qalınlığı;  $\tau_{acr(2,3)}$  – aerozulun optik qalınlığı.

2. Həmin magistral üzərində  $\lambda_2 = 0.94$  mkm dalğa uzunluğunda analogi ölçmələr aparılır və optik qalınlıq aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\tau_{0(0,94)} = \tau_{w,v(0,94)} + \tau_{acr(0,94)} \quad (5)$$

3. Həmin magistral üzərində  $\lambda_2 = 0.66$  mkm dalğa uzunluğunda da analogi ölçmələr aparılır, çünki burada su buxarlarının təsiri minimaldır. Ölçmələr nəticəsində aşağıdakını alırıq:

$$\tau_{0(0,66)} = \tau_{acr(0,66)} \quad (6)$$

4. Atmosfer aerozolu üçün Anqstrem modelindən istifadə edib və  $\tau_{acr(0,66)}$  qiymətini nəzərə alıb, ekstrapolyasiya yolu ilə  $\tau_{acr(0,94)}$  komiyyatı alır. Sonra (5) düsturu əsasında  $\tau_{w,v(0,94)}$  qiyməti hesablanır.

5. Magistral boyu çökmüş suyun ümumi miqdarı su buxarlarının optik qalınlığının məlum ölçmə modelindən istifadə olunmaqla təyin edilir.

6. Həm yuxarıda, həm də 1-ci bənddə əldə edilmiş ölçmə nəticələrindən istifadə etməklə magistral boyu  $CH_4$ -ün optik qalınlığı təyin olunur.

Təqdim etdiyimiz üsulla işçi düsturların alınması qaydasını verək.

Atmosfer aerozolunun Anqstrem modelinə görə  $\lambda_2 = 0.94$  və  $\lambda_3 = 0.66$  mkm dalğa uzunluqlarında ölçmə nəticələrini belə ifadə edərk [5]

$$\tau_{acr(0,94)} = \beta \cdot 0.94^{-\alpha} \quad (7)$$

$$\tau_{acr(0,66)} = \beta \cdot 0.66^{-\alpha} \quad (8)$$

burada  $\beta$  – aerolun bulanlığı;  $\alpha$  – Anqstrem göstəricisidir.

(7) və (8) ifadələrindən alırıq

$$\tau_{acr(0,94)} = \tau_{acr(0,66)} (1.43)^{-\alpha} \quad (9)$$

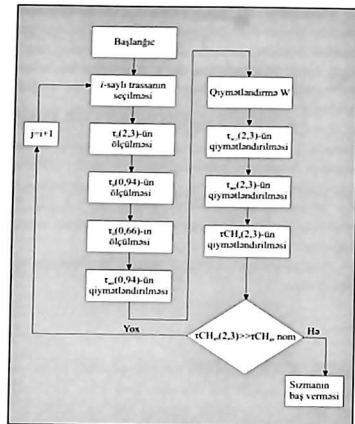
Su buxarlarının optik qalınlığının modeli kimi təklif olunan bu ifadədən istifadə edərk [6]

$$\tau_{w,v(0,94)} = a_1 (0.94) (m_w W)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

burada  $a_1(0.94) - 0.94$  mkm dalğa uzunluğunda su buxarlarının daxilə çəkmə əmsalı;  $m_w$  – su buxarlarının optik hava kütləsi;  $W$  – çökmüş suyun ümumi miqdarıdır.

(5), (9) və (10)-cü ifadələrdən istifadə edərk aşağıdakını alırıq

$$\tau_{0(0,94)} = a_1 (0.94) (m_w W)^{\frac{1}{2}} + \tau_{acr(0,66)} (1.43)^{-\alpha} \quad (11)$$



Şəkil 4. Magistral qaz boru kəmərlərinin təklif olunan diaqnostika üsulunun əməliyyat alqoritminin blok-sxemi

burada  $m_w$  – aerolun optik kütləsidir. (11)-ci ifadəni çökmüş suyun ümumi miqdarını tapırıq

$$W = \frac{1}{m_w} \left[ \frac{\tau_{0(0,94)} - m_w \tau_{acr(0,66)} (1.43)^{-\alpha}}{a_1 (0.94)} \right]^2 \quad (12)$$

(12) və (10) ifadələrini nəzərə alaraq 2.3 mkm dalğa uzunluğunda su buxarlarının optik qalınlığını hesablayırıq

$$\tau_{w,v(2,3)} = a_1 (2.3) \times \left[ \frac{\tau_{0(0,94)} - m_w \tau_{acr(0,66)} (1.43)^{-\alpha}}{a_1 (0.94)} \right] \quad (13)$$

(9) ifadəsinə analogi olaraq 2.3 mkm dalğa uzunluğunda aerolun optik qalınlığını hesablayırıq

$$\tau_{acr(2,3)} = \tau_{acr(0,66)} (3.48)^{-\alpha} \quad (14)$$

(4)-(13) və (14)-cü ifadələri nəzərə alaraq aşağıdakını tapırıq

$$\tau_{0(2,3)} = \tau_{CH_4(2,3)} + \frac{a_1 (2.3)}{a_1 (0.94)} \times \left[ \tau_{0(0,94)} - m_w \tau_{acr(0,66)} (1.43)^{-\alpha} \right] + \tau_{acr(0,66)} (3.48)^{-\alpha} \quad (15)$$

(15) ifadəsindən magistral boyu metanın optik qalınlığının hesablanması üçün aşağıdakı yekun düsturu alırıq

$$\tau_{CH_4(2,3)} = \tau_{0(2,3)} - \frac{a_1 (2.3)}{a_1 (0.94)} \times \left[ \tau_{0(0,94)} - m_w \tau_{acr(0,66)} (1.43)^{-\alpha} \right] + \tau_{acr(0,66)} (3.48)^{-\alpha} \quad (16)$$

Beləliklə, alınmış (16) düsturu qaz boru kəmərlərində baş verən sızmaların məsafədən diaqnostika əsasında imkan verir. Hesablanmış  $\tau_{CH_4}$  qiyməti bu parametrlin  $L$  uzunluqlu magistral boyu nominal

qiymətini xeyli aşarsa, demək olar ki, boru kəmərinə  $CH_4$ -ün sızması baş verir. Təklif olunan üsulun həyata keçirilməsi üçün əməliyyat alqoritminin blok-sxemi şəkil 4-də göstərilmişdir.

### Nəticə

1. Magistral boru kəmərlərində  $CH_4$ -ün sızmasını aşkarlanması üçün yeni trassalı ölçmə üsulu işlənmiş və onun yerinə yetirilməsi qaydaları göstərilmişdir.

2. Yeni üsulun riyazi alqoritmi verilmiş və magistralda  $CH_4$ -ün optik qalınlığını hesablamaq üçün düstur alınmışdır.

3. Təklif olunan üsulun realizasiyası üçün əməliyyat alqoritminin blok-sxemi tərtib olunmuşdur.

### Ədəbiyyat siyahısı

1. Thorpe A.K., Roberts D.A., Bradley E.S. Funk Ch.C. High resolution mapping of methane emissions from marine and terrestrial sources using a Cluster - Tuned Matched Filter technique and imaging spectrometry. Remote Sensing of Environment 134 (2013), pp. 305-318.
2. Kvenvolden K.A., Rogers B.W. Gaia's breath - Global methane exhalations. Marine and Petroleum Geology, (2005), 22, pp. 579-590.
3. Cubillas A.M., Lazaro J.M., Conde O.M., Petrovich M.N., Lopez - Higuera J.M. Multi-Line Fit Model for the Detection of Methane at v2 + 2v3 Band using Hollow - Core Photonic Bandgap Fibres.
4. Журавель Ю.Н., Федосеев А.А. Особенности обработки гиперспектральных данных дистанционного зондирования при решении задачи мониторинга окружающей среды // Cybernetika.ru
5. O'Neill N.T., Eck T.F., Holben B.N., Smirnov A., Royer A., and Li Z. Optical properties of boreal forest fire smoke derived from Sun photometry // Journal of the geophysical research, vol. 107, No. D11 10.1029/2001JD000877, 2002.
6. Guzzi R., Rizzi R. Water vapor absorption in the visible and near infrared: results of field measurements. Applied Optics/vol. 23, № 11/ 1 June 1984, pp. 1851-1858.

### References

1. Thorpe A.K., Roberts D.A., Bradley E.S. Funk Ch.C. High resolution mapping of methane emissions from marine and terrestrial sources using a Cluster - Tuned Matched Filter technique and imaging spectrometry // Remote Sensing of Environment, 134 (2013), pp. 305-318.
2. Kvenvolden K.A., Rogers B.W. Gaia's breath - Global methane exhalations. Marine and Petroleum Geology, (2005), 22, pp. 579-590.
3. Cubillas A.M., Lazaro J.M., Conde O.M., Petrovich M.N., Lopez - Higuera J.M. Multi-Line Fit Model for the Detection of Methane at v2 + 2v3 Band using Hollow - Core Photonic Bandgap Fibres.
4. Журавель Ю.Н., Федосеев А.А. Особенности обработки гиперспектральных данных дистанционного зондирования при решении задачи мониторинга окружающей среды // Cybernetika.ru
5. O'Neill N.T., Eck T.F., Holben B.N., Smirnov A., Royer A., and Li Z. Optical properties of boreal forest fire smoke derived from Sun photometry // Journal of the geophysical research, vol. 107, No. D11 10.1029/2001JD000877, 2002.
6. Guzzi R., Rizzi R. Water vapor absorption in the visible and near infrared: results of field measurements. Applied Optics / vol. 23, No 11, 1 June 1984, pp. 1851-1858.