

İ.H.Əsədov (MAKA-nın doktorantı), *R.H.Ramazanov, Ə.F.Əhmədov, E.Ə.Əliyev*
(MAKA-nın Elmi-Tədqiqat Aerokosmik İnformatika İnstitutu)

MƏŞƏLLƏRDƏ KARBOHİDROGEN QAZININ QRUP HALINDA YANMA PROSESİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI

Giriş. Bəzi araşdırmalarda göstərilirdi ki karbohidrogenlərin hasil olunduğu, saxlanıldığı və emal edildiyi ərazilərdə karbohidrogen qazının sıxılmış həcmi haqqında ətraflı məlumatların olmaması səbəbindən məşəl qazlarının qlobal miqyasda utilizasiyasına nəzarətin həyata keçirilməsində peyk ölçmə məlumatları daha çox informativ sayılır [1]. Müxtəlif beynəlxalq dövlət agentliklərinin qiymətləndirmələrində təsadüfi alovlanan karbohidrogen qazlarının həcminə görə Rusiya Federasiyası (RF) əsas ölkələrdən biri hesab edilir. Həmin hesablamalara əsasən RF-də yandırılan qazın ümumi həcmi 23 milyard kub metr təşkil edir, bunun da 19 milyard kub metri neft-qaz hasilatının payına düşür ki, bu da planetdə yandırılan qazın bütün qlobal miqyasının 15%-ə qədərini təşkil edir [1]. Qaz məşəllərinin peyk nəzarətinə dair ilk tədqiqatlar DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) [2,3] və TIROS-N (Television and Infra-Red Observation Satellite - N) [4] proqramları bazasında aparılmışdır. Analoji tədqiqatlar RF-də MODIS-in spektrometrindən alınmış verilənlər bazası əsasında həyata keçirilmişdir [5].

NOAA-nın (ABŞ) 2015-ci ildə peyk məlumatları əsasında apardığı qiymətləndirməyə görə planetin 88 ölkəsində fəaliyyətdə olan 13605 qaz məşəlləri aşkar edilmişdir [6]. Həmin tədqiqatlarda aparılan qiymətləndirməyə görə hər il 140 milyard kub metr qaz yandırılır ki, bunun da nəticəsində planetdə iqlimin dəyişməsi prosesini daha da sürətləndirən 300 milyon ton CO₂, həmçinin müxtəlif az zəhərli qazlardan ibarət külli miqdarda aerosol atmosfərə atılır [6]. Digər tədqiqatlarda “Suomi-NPP” peykində quraşdırılmış VIIRS spektrometrindən alınmış məlumatlara əsasən məşəllərdə yanan karbohidrogen qazının həcmi qiymətləndirilməsi metodikasını təqdim edilmişdir [7,8,9]. Bu metodika yanan qazın həcmi ilə peyk vasitəsilə təyin edilmiş məşəllərin gücü arasındakı reqressiya əlaqəsinə əsaslanmış və reqressiya münasibəti aşağıdakı kimi təqdim edilmişdir:

$$V = 0,0247 \cdot W. \quad (1)$$

Burada V – yanan qazın həcmi, m³; W – qaz məşəlinin gücüdür, meqavt.
Stefan-Bolsman qanununa əsasən aşağıdakı münasibət doğrudur:

$$W = \sigma T^4 S. \quad (2)$$

Burada T – temperatur, K (Kelvin); S – mənbənin səthinin sahəsi; σ – Stefan-Bolsman sabitidir.

Mənbə [10]-də göstərilirdi ki W ilə S parametri arasındakı qeyri-xətti asılılıq aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$W = \sigma T^4 S^{0,7}. \quad (3)$$

Mənbə [7]-də RF-nin Qərbi Sibir regionu üçün V – nin qiyməti (1) və (3) ifadələrinə əsasən hesablanmışdır. Baxılan halda dəniz platformalarında quraşdırılmış

qaz məşəlləri qrupunda yandırılan ümumi qazın həcmnin ekstremal model qiymətlərinin hesablanması üçün işlənmiş metodika təqdim edilmişdir.

Təklif olunan metodun mahiyyəti. Yanan qazın ümumi həcmnin ekstremal qiymətinin hesablanması üçün təklif olunan metodika aşağıdakı ilkin fərziyyələrə əsaslanır.

1. T və S parametrləri arasında bəzi reqressiya asılılığı qeyri-aşkar şəkildə aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$T = f(S) . \quad (4)$$

2. S parametri aşağıdakı kimi təyin olunan qaz məşəlləri qrupuna baxılır:

$$S = \{S_{min}; S_{min} + \Delta S; S_{min} + 2\Delta S; \dots; S_{min} + (n - 1)\Delta S\}; \quad \Delta S = const. \quad (5)$$

3. $f(S)$ funksiyası aşağıdakı məhdudiyyət şərtlərindən seçilə bilər:

$$\sum_{i=0}^{n-1} f(S_i) = const. \quad (6)$$

Burada $i = 0$ olduqda, $S_0 = S_{min}$ olar, $i = n - 1$ olduqda isə

$$S = S_{min} + (n - 1)\Delta S . \quad (7)$$

(3) ifadəsini (1)-də nəzərə alsaq, alırıq

$$V = 0,0247 \cdot \sigma S^{0,7} f(S)^4 . \quad (8)$$

Yanan qazların məşəl qrupunda tərtib olunmuş (5) ümumi cəmini aşağıdakı cəm şəklində göstərək:

$$V_{\Sigma} = \sum_{i=0}^{n-1} 0,0274 \sigma S_i^{0,7} f(S_i)^4 . \quad (9)$$

(6) və (9) ifadələrini nəzərə alsaq, V_{Σ} ekstremal qiymətə yaxınlaşdıqda $f(S_i)$ optimal funksiyasının hesablanması üçün variasiya məsələsini aşağıdakı kimi tərtib edə bilərik:

$$V_{\Sigma} = \sum_{i=0}^{n-1} 0,0274 \sigma S_i^{0,7} f(S_i)^4 + \lambda \left[\sum_{i=0}^{n-1} f(S_i) - C \right]. \quad (10)$$

Burada, λ - Laqranj vuruğudur.

(10) tənliyini kəsilməz formada aşağıdakı kimi təqdim edək:

$$V_{\Sigma n} = \int_{S_{min}}^{S_{max}} 0,0274 \sigma S^{0,7} f(S)^4 dS + \lambda \left[\int_{S_{min}}^{S_{max}} f(S) dS - C \right]. \quad (11)$$

$f(S)$ formalı optimal qiyməti hesablamaq üçün Eyler metoduna əsasən aşağıdakı şərt ödənilməlidir:

$$\frac{d\{0,0274 \sigma S^{0,7} f(S)^4 + \lambda f(S)\}}{df(S)} = 0 . \quad (12)$$

(12) – dən alırıq:

$$4 \cdot 0,0274 \sigma S^{0,7} f(S)^3 + \lambda = 0. \quad (13)$$

(13)-dən isə alırıq:

$$f(S) = \sqrt[3]{\frac{-\lambda}{4 \cdot 0,0274 \sigma S^{0,7}}} = -\lambda^{\frac{1}{3}} \cdot S^{-\frac{0,7}{3}} \cdot \sigma^{-\frac{1}{3}} \cdot C_1; \quad \text{burada } C_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{4 \cdot 0,0274}}. \quad (14)$$

(14) və (6) analoq modellərini nəzərə alsaq,

$$-\int_{S_{min}}^{S_{max}} \lambda^{\frac{1}{3}} \cdot S^{-\frac{0,7}{3}} \cdot \sigma^{-\frac{1}{3}} \cdot C_1 dS = C. \quad (15)$$

(15)-dən tapırıq:

$$\lambda = -\frac{(2,3)^3 C^3 \sigma}{9 \cdot C_1^3 S_m^{2,3}}. \quad (16)$$

(13) və (17)-ni nəzərə alaraq, tapırıq:

$$4 \cdot 0,0274 \cdot S^{0,7} f(S)^3 = \frac{(2,3)^3 C^3 \sigma}{9 \cdot C_1^3 S_m^{2,3}}. \quad (17)$$

(17)-dən alırıq:

$$f(S) = C_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma}{S^{0,7}}}. \quad (18)$$

Burada

$$C_2 = \frac{2,3C}{C_1 \sqrt[3]{9 S_m^{2,3} \cdot 4 \cdot 0,0274}}. \quad (19)$$

Beləliklə, (18) məsələsi həll edilməklə (11) məqsəd funksionalı ekstremum qiymətini alır. Lakin, (10)-da inteqrantın 2-ci tərtib törəməsinin yoxlanılması göstərir ki, ekstremum minimumdur. (9) kəsilməz ekvivalentini və (19)-u nəzərə alsaq, $S_{min} = 0$ olduqda, alırıq:

$$V_{\Sigma n_{min}} = 0,0274 \cdot \sigma^{7/3} C_2^4 S_m^{-7/30}. \quad (20)$$

(0÷ S_m) intervalı üzrə yanan qaz həcmi üçün minimal orta qiymət aşağıdakı kimi tapılır.

$$V_{\Sigma n_{mincp}} = \frac{0,0274 \cdot \sigma^{7/3} C_2^4}{S_m^{37/30}}. \quad (21)$$

Beləliklə, karbohidrogen qazının yanan həcmnin yüksək qiymət almaması üçün S -in T -nin kub kökü ilə tərs mütənasib olması zəruri şərtidir.

Nəticə. Göstərilmişdir ki, qaz məşəllərinin nizamlı model qrupunda onların ölçüsünün xətti artımında və məşəllərin temperaturları cəminə ekoloji məhdudiyət qoyulduqda, məşəlin temperaturu ilə məşəlin həcmnin kubunun tərs mütənasibliyi nəzərdən keçirilən qrupda qazın miqdarının minimum olmasına gətirib çıxarar.

Buna görə də praktikada qazın yanmasının səmərəliliyinə yüksək səviyyədə nail olmaq üçün belə bir texnoloji rejimdən yayınmaq məqsədəuyğundur. Aydındır ki, bu məqsədlə qazın yanma temperaturunu tənzimləməklə, S parametridən asılı olaraq məşəlin temperaturunun dəyişdirilməsi üçün müxtəlif texnoloji üsullardan istifadə etmək mümkündür.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Zhizhin M., Matveev A., Ghosh T., Hsu F., Howells M., Elvidge C. Measuring gas flaring in Russia with multispectral VIIRS nightfire // Remote sens. 13. 3078. 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13163078>
2. Croft T. A. Nighttime images of the Earth from space // Sci. Am. 239. 1978. Pp.86-98.
3. Elvidge C. D., Ziskin D., Baugh K. E., Tuttle B. T., Ghosh T., Pack D. W., Erwin E. H., Zhizhin M. A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data // Energies. 2. 2009. Pp.595-622.
4. Matson M., Dozier J. Identification of subresolution high temperature sources using thermal IR sensor // Photogramm. Eng. Rem. Sens. 47. 1981. Pp. 1311-1318.
5. Alsynbaev K., Bryksin V., Yevtyshkin A., Erokhin G., Kozlov A. Power rating of flares power burning associated gas by processing satellite images MODIS // IKBFUs Vestnik. 10. 2013. Pp. 131-137.
6. Elvidge C. D., Bazilian M. D., Zhizhin M. et al. The potential role of natural gas flaring in meeting greenhouse gas mitigation targets // Energy Strategy Reviews. Vol. 20. 2018. Pp. 156-162.
7. Lagutin A. A., Mordvin E. Y., Volkov N. V., Tuchina N. V. Estimation of natural gas flaring volume at the western Siberia flares using satellite night-time data in the visible and near-infrared range
8. Hillger D., Kopp T., Lee T. et al. First-light imagery from SUOMI NPP VIIRS // BAMS. 2013. Vol. 94. Pp. 1019-1029.
9. Powell A. M., Weng F. Introduction to special section on Suomi National Polar-Orbiting Partnership satellite calibration, validation, and applications // J. Geophys. Res. Atmos. 2013. Vol. 118. Pp. 12216-12217.
10. Elvidge C. D., Zhizhin M., Baugh K. et al. Methods for global survey of natural gas flaring Visible Infrared Imaging Radiometer Suite data // Energies. 2016. Vol. 9

İ.X.Asədov, P.X.Ramazanov, A.Ə.Axmedov, Ə.A.Aliyev

Оптимизация процесса группового сжигания углеводородного газа в факелах***Резюме***

Работа посвящена разработке методики оптимизации процесса сжигания углеводородного газа в группе близлежащих платформ морской нефтедобычи. Сформулирована и решена задача оптимизации процесса группового сжигания углеводородного газа в факелах. Показано, что при организации упорядоченной группы газовых факелов, где размеры факелов линейно нарастают, при наличии ограничения на суммарную температуру факелов, наличие обратной кубической корневой зависимости температуры факела от объема факела может привести к сгоранию минимального количества газа в рассматриваемой группе. На основе полученного результата выработана рекомендация избегать на практике такого режима сжигания углеводородного газа.

İ.H.Asədov, R.H.Ramazanov, A.Ə.Ahmedov, Ə.A.Aliyev

Optimization of the group combustion process of carbon hydrogen gas in flares***Abstract***

The article is devoted to the optimization of the combustion process of hydrocarbon gas in a group of offshore oil production platforms located close to each other. The problem of optimizing the process of group combustion of hydrocarbon gas in the torch was designed and solved. It has been shown that when the total temperature of the torches is limited, the dependence of the torch volume on the cube root of its temperature can be used to minimize the amount of gas used for lighting the torches in the considered group. is inversely proportional to the orderly arrangement of flares, which increase linearly in size. Based on the results obtained, a recommendation was made to avoid this regime of hydrocarbon gas combustion in practice.