

О влиянии температуры окружающей среды на начальную высоту подъема факельных выбросов

*П.А. Бармин, А.В. Дериченко, Л.С. Панжева, В.В. Лупиногин, С.В. Лукьяница,
Ф.Г. Антонов*

*Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного
технического университета*

Аннотация: В статье рассматривается вопрос влияния температуры окружающей среды на начальную высоту подъема факельных выбросов.

Ключевые слова: факел, факельные выбросы, загрязнение атмосферного воздуха, PM_{2,5}.

Введение

Факельное сжигание - это распространенная практика утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ) в нефтегазовой промышленности. Сжигание посторонних газов происходит в открытом диффузионном пламени, обычно на выходе из вертикально поднятой факельной трубы или в футерованном огнеупором котловане. Данный метод позволяет снизить выбросы парниковых газов и риски для здоровья и безопасности местного населения [1, 2]. Однако при сжигании факельного газа образуются атмосферные загрязнители, в том числе сажа, представляющая собой форму твердых частиц диаметром $\approx 2,5$ мкм (PM_{2,5}) [3]. Углеродистый компонент сажи - черный углерод (ЧУ), является важным атмосферным загрязнителем, оказывающим критическое воздействие на местную биосферу и глобальную окружающую среду [4, 5].

Источники факельных выбросов имеют широкую географию. На рис.1 представлено расположение 6232 точек факельной активности, обнаруженных Национальным управлением океанических и атмосферных исследований (NOAA) благодаря использованию алгоритма Nightfire. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что глобальный объем сжигаемого газа превышает 140 млрд.м³ в год [6, 7].

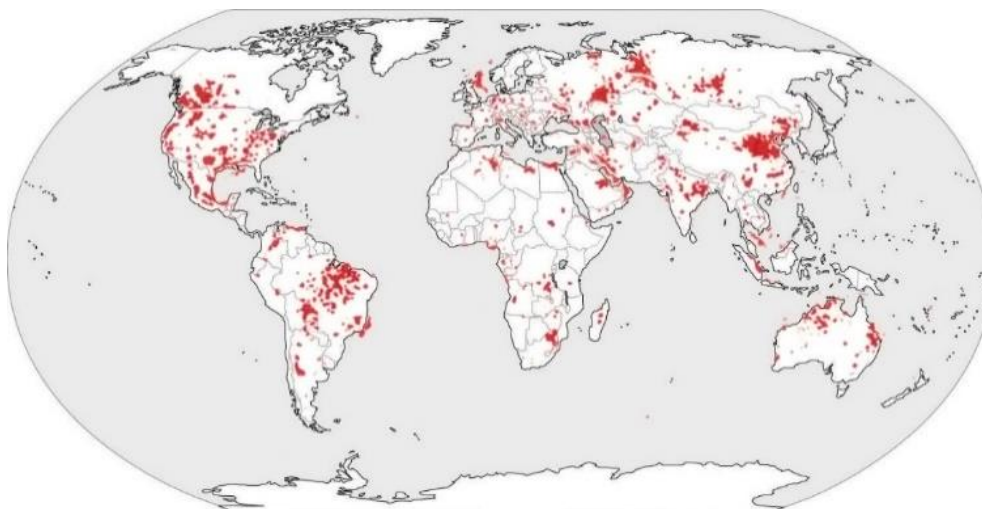


Рис.1. – Расположение факельных систем (отмечены красным) обнаруженные благодаря использованию алгоритма Nightfire [6, 7].

Сам масштаб глобального сжигания газа в факелах вызывает озабоченность по поводу климатических последствий связанных с ним загрязняющих веществ, особенно ЧУ и CO_2 . Воздействие ЧУ усиливается в более высоких широтах, где осадение ЧУ снижает альбедо поверхности и усиливает таяние снега и льда. Данные, полученные в результате моделирования, свидетельствуют о том, что 66% концентраций ЧУ к северу от Северного Полярного круга образуются в результате процесса переноса черного углерода, генерируемого факелами из Западной Сибири [6, 7].

Самые значительные факторы, влияющие на перенос загрязнения и направление движения потока загрязняющих веществ - это метеорологические условия, одним из которых является температура окружающей среды [8]. В частности, эти факторы влияют на величину начального подъема факела, то есть эффективное изменение высоты источника выброса под влиянием начальной скорости и/или перегрева выбрасываемой из источника газовой смеси. Данный параметр является важным и учитывается в различных методиках расчета [9]. Начальный подъем факельных выбросов в значительной степени влияет на

расчеты загрязнения и оценку негативного воздействия на урбанизированные территории вблизи источников факельных выбросов.

Цель работы

Цель работы - экспериментальное исследование зависимости начальной высоты подъема факельных выбросов от температуры окружающей среды, проведение сопоставления эмпирических данных и теоретических расчетов.

Район исследования

Исследование проводилось в центральной части Иркутской области на территории Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения (ЯНГКМ). ЯНГКМ расположено в северной части Усть-Кутского района и южной части Катангского района, в верхнем течении реки Нижняя Тунгуска, а именно бассейнах ее левых притоков Яракты и Гульмока. Ближайший крупный населенный пункт – город Усть-Кут – расположен в 150 км на Юго-Восток (рис.2) [10].



Рис.2. – ЯНГКМ, Усть-Кутский район, Иркутская область.

Натурные исследования и обработка их результатов

Наблюдения производились за факельными системами установки подготовки нефти (УПН). При разных температурных условиях с одной и той же позиции были выполнены снимки факельных систем.

Фотосъемка факельных систем (рис.3) проводилась при определенных погодных условиях: юго-восточный ветер, скорость ветра в диапазоне 0,8-1,2 м/с, отсутствие атмосферных осадков. Такие метеорологические элементы, как атмосферное давление, влажность воздуха, при проведении исследования не учитывались.



Рис.3. – Слева - факельный шлейф при температуре +25 С°;
справа - факельный шлейф при температуре -30 С°.

Данные, полученные с фотоснимков, представим в виде графика (рис.4.):

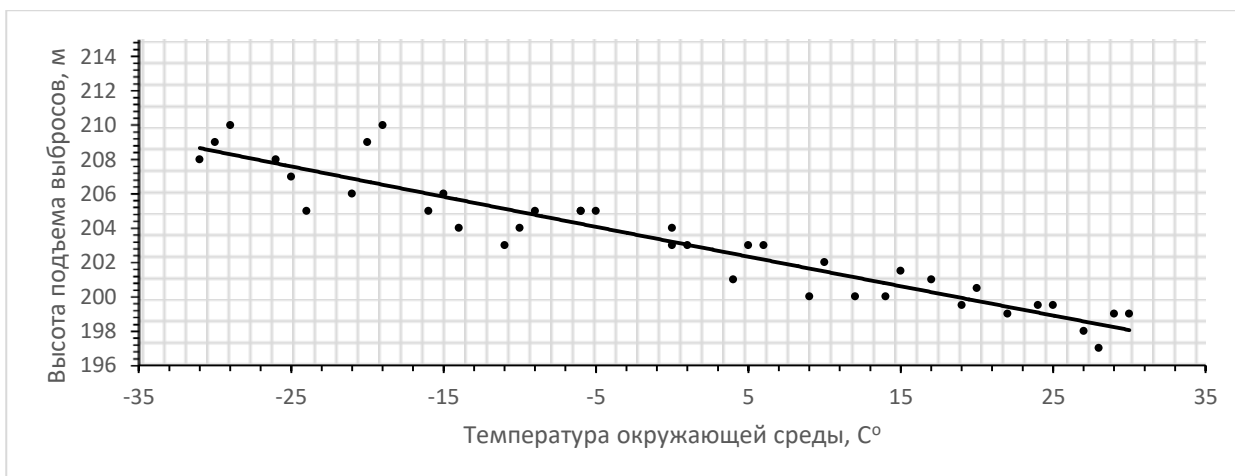


Рис.4. – График зависимости высоты подъема выбросов H_c от температуры атмосферного воздуха T_a на основе фотоснимков.

При сравнении движения факельного шлейфа при разных температурных условиях, очевидно, что при отрицательных температурах высота подъема выбросов выше, чем в положительных температурных условиях (рис.3). Аппроксимация опытных данных (рис.4) указывает на то, что начальная высота подъема факельных выбросов и температура атмосферного воздуха имеют линейную обратную зависимость.

Теоретическое исследование и обработка их результатов

Начальная высота подъема загрязняющих веществ над источником загрязнения определяется по следующей формуле [11, 12]:

$$H_c = H_r + \Delta h \quad (1)$$

Где H_r – эффективная высота (суммарная) подъема шлейфа газа, м;
 Δh - начальный подъем струи (газа), м.

В преобразованном виде эта формула, основанная на эмпирических данных, имеет вид [11, 12]:

$$\Delta h = \frac{114 \times C \times F^{1/3}}{u}, \quad (2)$$

где $F = \frac{g \times V_s \times d^2 \times (T_s - T_a)}{4 \times T_a}$, $\text{м}^4/\text{с}^3$;

g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$;

V_s – скорость газа на выходе из трубы, $\text{м}/\text{с}$;

d – диаметр выходного отверстия трубы, м;

T_s – Температура газа на выходе из трубы, $^{\circ}\text{К}$;

T_a – Температура атмосферного воздуха, $^{\circ}\text{К}$;

$C = 1,58 - 41,4 \times \frac{\Delta \theta}{\Delta z}$ - безразмерный коэффициент;

$\frac{\Delta \theta}{\Delta z}$ - градиент потенциальной температуры, $^{\circ}\text{К}/\text{м}$;

u – скорость ветра на уровне выходного отверстия, м/с;

Константа 114 имеет размерность $\text{м}^{2/3}$.

Исходя из известных формул (1,2) найдем зависимость эффективной высоты подъема шлейфа H_c от температуры атмосферного воздуха T_a . Прочие параметры примем неизменными и равными: $g=9.81 \text{ м/с}^2$, $V_s=100 \text{ м/с}$, $d=0.5 \text{ м}$, $T_s=673 \text{ }^\circ\text{К}$, $C=1.5389$, $\Delta\theta/\Delta z=0.001$, $u=1 \text{ м/с}$. Полученные данные представим в виде графика (рис.5.).

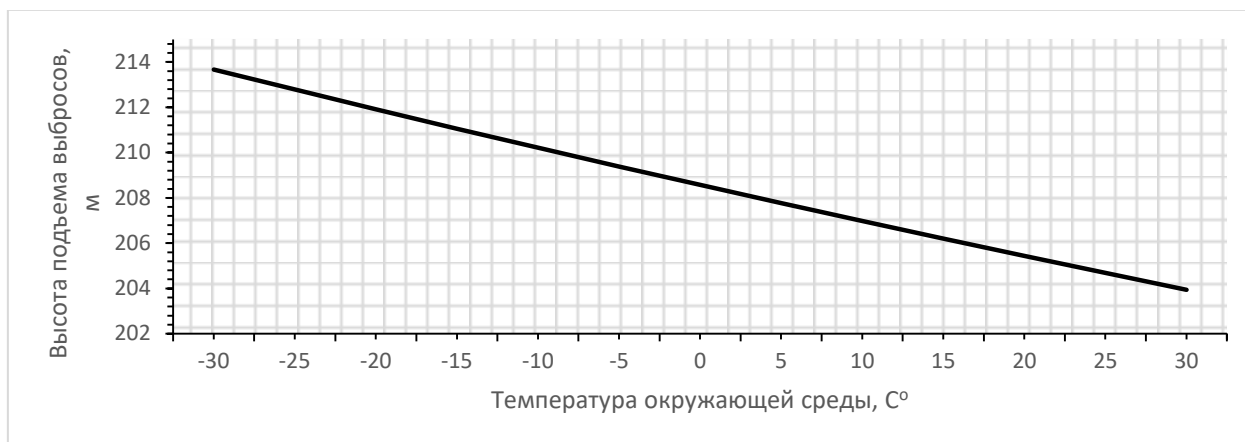


Рис.5. – График зависимости высоты подъема выбросов H_c от температуры атмосферного воздуха T_a на основе теоретических расчетов.

Наличие степени в формуле 2 указывает на то, что зависимость H_c от T_a имеет вид параболы. Но, ввиду того, что разница между минимальным и максимальным значениями разности T_a-T_s не так велика (всего 4,45%), можно сделать вывод, что начальная высота подъема факельных выбросов и температура атмосферного воздуха, в данном диапазоне температур, согласно графику (рис.5), имеют линейную обратную зависимость.

Заключение

В ходе исследования была изучена зависимость начальной высоты подъема факельных выбросов от температуры окружающей среды. Натурные исследования (рис.4) верифицируют теоретическую модель (рис.5) и

подтверждают, что начальная высота подъема факельных выбросов зависит от температуры окружающей среды и имеет обратную зависимость.

Литература

1. Conrad B.M., Johnson M.R. Field Measurements of Black Carbon Yields from Gas Flaring // *Environmental Science & Technology*, Ottawa, 2017. V.51, №3. pp. 1893-1900.
2. Бармин П.А., Дериченко А.В. Анализ химического состава осевшей пыли вблизи источника факельных выбросов // *Инженерный вестник Дона*, 2021. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6941.
3. Бармин П.А., Кленин И.С., Азаров В.Н. Загрязнение воздушной среды населенных пунктов мелкодисперсной пылью от факельных выбросов // *Социология города*. 2021. №2. С. 42—51. URL: elibrary.ru/item.asp?id=46237088.
4. Азаров В.Н., Тертишников И.В., Калюжина Е.А. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (рм 10 и рм 2,5) в воздушной среде // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура, 2011. №25. URL: vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/arkhiv-vypuskov/.
5. Wang X., Judith C.C., Kohl S.D., Percy K.E., Legge A.H., Watson J. G. Characterization of PM2.5 and PM10 fugitive dust source profiles in the Athabasca Oil Sands Region // *Journal of the Air & Waste Management Association*, Philadelphia, 2015. V.65, №12. Pp. 1421-1423. URL: doi.org/10.1080/10962247.2015.1100693.
6. Huang K., Fu J.S. A global gas flaring black carbon emission rate dataset from 1994 to 2012. *Scientific data*, 2016. V.3. Pp. 1-11. URL: doi.org/10.1038/sdata.2016.104.

7. Ismail O.S., Umukoro G.E. Global Impact of Gas Flaring. Energy and Power Engineering, Ibadan, 2012. V.4, №4. Pp. 290-300. URL: doi.org/10.1038/sdata.2016.104.

8. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений // Наука, Новосибирск, 1979. С. 280.

9. Минприроды России. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе // Москва, 2017. С. 110.

10. Москвин А.Г. Лено-Тунгусская нефтегазоносная провинция // Большая российская энциклопедия. Том 17, Москва, 2010. С. 1-2.

11. Манохин В.Я., Иванова И.А., Головина Е.И. Методы определения эффективной высоты трубы при учете рассеивания выбросов в рабочей зоне производств // Безопасность природных и техногенных систем, 2021. №2. С. 8-13. URL: doi.org/10.23947/2541-9129-2021-2-8-13.

12. Манохин В.Я., Мущенко Б.Л., Карасева И.А. Определение высоты подъема струи газа в условиях действия сносящего потока воздуха // Высокие технологии в экологии: сборник трудов 9-ой Международной научно-практической конференции, Воронеж, 2006. С. 206–213.

References

1. Conrad B.M., Johnson M.R. Environmental Science & Technology, Ottawa, 2017. V.51, №3. pp. 1893-1900.

2. Barmin P.A., Derichenko A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6941.

3. Barmin P.A., Klenin I.S., Azarov V.N. Sociologiya goroda. 2021. №2. Pp. 42—51. URL: elibrary.ru/item.asp?id=46237088.

4. Azarov V.N., Tertishnikov I.V., Kalyuzhina E.A. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya:



Stroitel'stvo i arhitektura, 2011. №25. URL: vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/arkhiv-vypuskov/.

5. Wang X., Judith C.C., Kohl S.D., Percy K.E., Legge A.H., Watson J. G. Journal of the Air & Waste Management Association, Philadelphia, 2015. V.65, №12. Pp. 1421-1433. URL: doi.org/10.1080/10962247.2015.1100693.

6. Huang K., Fu J.S. Scientific data, 2016. V.3. Pp. 1-11. URL: doi.org/10.1038/sdata.2016.104.

7. Ismail O.S., Umukoro G.E. Energy and Power Engineering, Ibadan, 2012. V.4, №4. Pp. 290-300. URL: doi.org/10.1038/sdata.2016.104.

8. Nikolaevskij V.S. Biologicheskie osnovy gazoustojchivosti rastenij [Biological bases of gas resistance of plants]. Nauka, Novosibirsk, 1979. Pp. 280.

9. Minprirody Rossii. Metody raschetov rasseivaniya vybrosov vrednyh (zagryaznyayushchih) veshchestv v atmosfernom vozduhe. [Methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in atmospheric air]. Moskva, 2017. Pp. 110.

10. Moskvina A.G. Leno-Tungusskaya neftegazonosnaya provinciya [Leno-Tunguska oil and gas province]. Bol'shaya rossijskaya enciklopediya. Tom 17, Moskva, 2010. Pp. 1-2.

11. Manohin V.YA., Ivanova I.A., Golovina E.I. Bezopasnost' prirodnyh i tekhnogennyh sistem, 2021. №2. С. 8-13. URL: doi.org/10.23947/2541-9129-2021-2-8-13.

12. Manohin V. YA., Mushchenko B.L., Karaseva I.A. Vysokie tekhnologii v ekologii: sbornik trudov 9-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Voronezh, 2006. Pp. 206–213.