

только как растворитель, но и как разбавитель, снижает вязкость системы «пек–хинолин–керосин» и улучшает условия массопереноса.

Для сокращения времени экстракции необходимо ускорить диффузионные процессы и улучшить растворяющую способность экстрагента путем повышения температуры или увеличения концентрации растворителя в системе. Изменение давления в этом случае не окажет существенного влияния на протекающие процессы массопереноса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang Z, Wang Z, Zhang L, Cui J, Guo S, Ji H, et al. Study on the co-carbonization behavior of high-temperature coal tar pitch and raffinate oil of low-temperature coal tar. // *Fuel*. 2022. Vol. 310.
2. Zhu Y, Zhao C, Xu Y, Hu C, Zhao X. Preparation and Characterization of Coal Pitch-Based Needle Coke (Part I): The Effects of Aromatic Index (fa) in Refined Coal Pitch. // *Energy and Fuels*. 2019. Vol. 33(4), 3456–3464. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00160>.
3. Zhu Y, Hu C, Xu Y, Zhao C, Yin X, Zhao X. Preparation and Characterization of Coal Pitch-Based Needle Coke (Part II): The Effects of  $\beta$  Resin in Refined Coal Pitch. // *Energy and Fuels*. 2020. Vol. 34. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b03406>.
4. Zhu Y, Liu H, Xu Y, Hu C, Zhao C, Cheng J, et al. Preparation and Characterization of Coal-Pitch-Based Needle Coke (Part III): The Effects of Quinoline Insoluble in Coal Tar Pitch. // *Energy and Fuels*. 2020. Vol. 34. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01049>.

УДК 622.012:331.45

**Ивахнюк Г.К., Фокин Д.Р.**

(Санкт-Петербургский государственный  
технологический институт (технический университет))

#### **СИНЕРГИЗМ ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА НА ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ**

**Введение.** Развитие мировой горнодобывающей отрасли характеризуется постоянным усложнением условий, вызванным ростом геомеханических и геодинамических рисков, ужесточением требований к промышленной безопасности, технологическому оснащению и квалификации персонала. Несмотря на это, в мире ежегодно фиксируется более 150 аварий на горнодобывающих объектах. Количество человеческих

жертв и экономических потерь с каждым днем увеличивает значимость промышленной безопасности. Наиболее частой причиной трагедий остаются взрывы и возгорания метана и иных взрывоопасных смесей газов, которые не были своевременно выявлены и нейтрализованы. Однако вопрос синергизма этих газов и влияния на кинетику горения не изучен в должном объеме.

Увеличение рынка сбыта природного (СПГ) и углеводородных (СУГ) газов из-за перехода на экологически чистые источники энергии и экономической выгодой является причиной обновления существующей нормативной документации по обращению с данными продуктами горной отрасли. Переход на использование СУГ, как топливо для горных машин и транспорта по аналогии с автомобильным транспортом или использование в газогенераторах и тепловых установках в горных выработках образует новые причины возникновения рисков. Нормативный состав СПГ устанавливается согласно ГОСТ 34894-2022 и регламентирует возможные показатели метана в нем, но не других горючих газов. Тем не менее, получение метановоздушной смеси с пропаном, бутаном и изобутаном для каменноугольных шахт не редкость.

**Методика исследования.** Исследование проводилось в теоретическом и эмпирическом формах. [1,2] Рассматривались смеси метана и СУГ в разных концентрациях с шагом 10%.

Для расчета НКПР смеси использовалось правило Ле Шателье в формуле:

$$НКПР_{смеси} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{НКПР_i}},$$

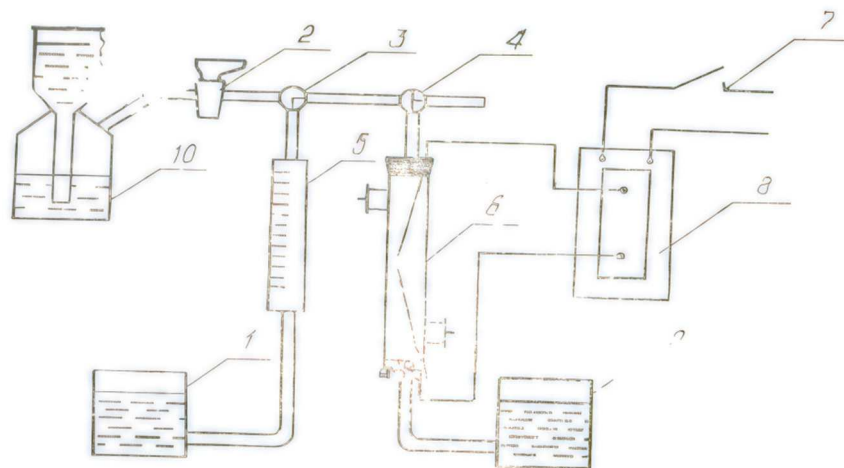
где  $\varphi_i$  - Объемная доля  $i$ -го компонента в смеси, выраженная в процентах;  $НКПР_i$  - Нижний концентрационный предел распространения пламени для чистого  $i$ -го компонента (в % об.).

Полученные расчеты приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – НКПР смеси метана и СУГ по правилу Ле Шателье**

| Доля Метана в смеси, % | Доля СУГ в смеси, % | Теоретический НКПР смеси, % об. |
|------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 40                     | 60                  | 2,38                            |
| 50                     | 50                  | 2,57                            |
| 60                     | 40                  | 2,81                            |
| 70                     | 30                  | 3,09                            |
| 80                     | 20                  | 3,43                            |
| 90                     | 10                  | 3,85                            |
| 100                    | 0                   | 4,4                             |

Получение экспериментальных данных проводилось на установке по определению концентрационных пределов распространения пламени в газозвушных смесях (Рис.1) на кафедре инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).



**Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для определения концентрационных пределов распространения пламени**

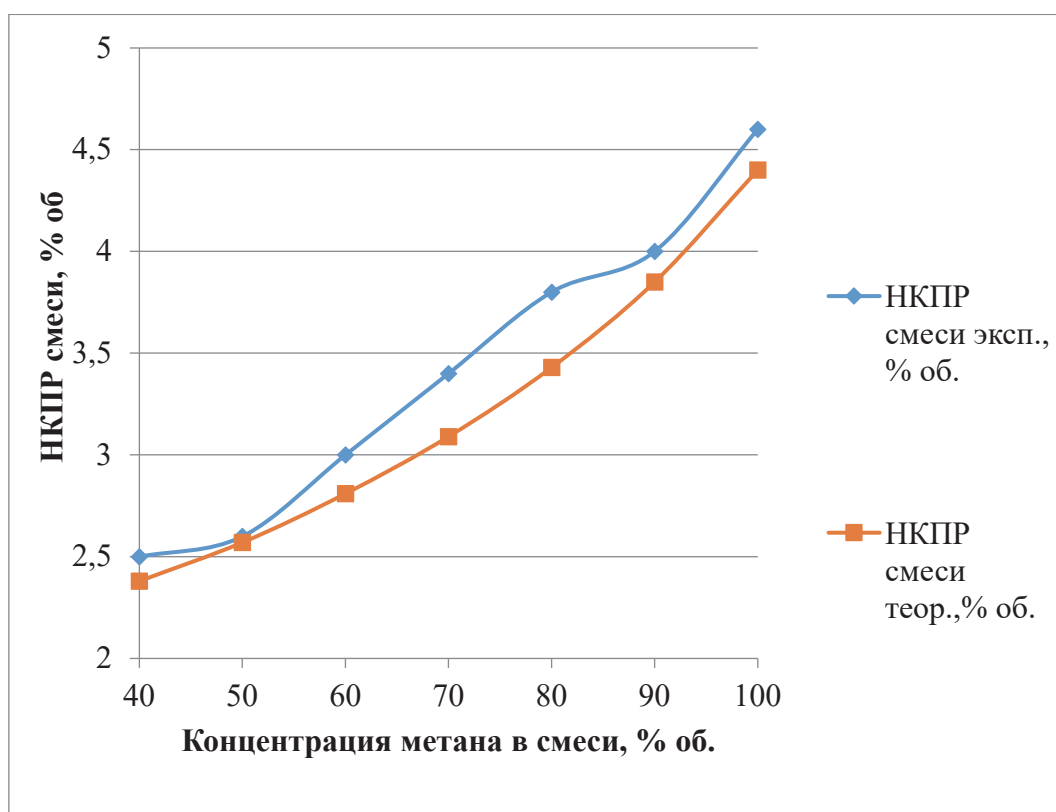
Сущность метода определения концентрационных пределов распространения пламени заключается в зажигании газозвушной смеси в объеме взрывного цилиндра и установления факта наличия или отсутствия распространения пламени. Изменяя концентрацию горючего в смеси, устанавливают ее минимальное и максимальное значения, при которых происходит распространение пламени. Установка состоит из взрывного цилиндра 6 с предохранительными клапанами, мерного цилиндра 5 для забора газа, двух аспириров с водой 1,9 и газометра 10. Мерный цилиндр градуирован на 45 см<sup>3</sup>. сверху имеет трехходовой кран 3, а снизу резиновым шлангом соединен с аспириром 1. Взрывной цилиндр 6 объемом 200 см<sup>3</sup> изготовлен из пирекса, в верхней и нижней частях плотно закрыт резиновыми пробками, через которые пропущены два медных электрода, соединенных с индуктором ВИ-100 8, предназначенным для создания искрового разряда нажатием кнопки 7. Сверху взрывной цилиндр с помощью крана 4 соединен с мерным цилиндром 5 и атмосферой. Снизу взрывной цилиндр соединен резиновым шлангом с аспириром 9, предназначенным для забора необходимого количества воздуха.

Для работы использовался СУГ из универсального газа и метан из магистрального газоснабжения. Для смешения газов в газометре за счет диффузии выделялось 5-10 минут. При заборе во взрывной цилиндр

смеси газов и воздуха устанавливалась выдержка 1-2 минуты для создания равномерной концентрации по всему объему взрывного цилиндра.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Различия в геометрических формах взрывного цилиндра, состава с примесями СУГ и метана могут влиять на параметры концентрационных пределов, для их исключения получены значения НКПР газов до смешения 4,6% и 2,4% соответственно.

По результатам более 170 экспериментов были получены закономерности для определения нижнего концентрационного предела распространения пламени смеси метана и пропана, бутана, изобутана. Результаты представлены на рисунке 2. При добавлении в метановоздушную смесь СУГ общий НКПР снижается и становится меньше НКПР метана (4,4%). В смеси, где содержание метана менее 40% НКПР стремится к значению НКПР СУГ.



**Рисунок 2 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений НКПР смеси метана и СУГ**

Результаты теоретических расчетов завышают НКПР реальный. Необходимо продолжение работы в данном направлении с добавлением других газов и использованием технических газов для уменьшения погрешности. [3]

## ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние состава сжиженного природного газа на концентрационные пределы распространения пламени / И. А. Тетерин, В. А. Сулименко, М. А. Гудков [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2023. – № 2. – С. 26-32. – DOI 10.25257/FE.2023.2.26-32. – EDN ESBTKU.

2 Luo Z., Liang H., Wang T., Cheng F., Su B., Liu L., Liu B. Evaluating the effect of multiple flammable gases on the flammability limit of CH<sub>4</sub>: Experimental study and theoretical calculation. Process Saf. Environ. Prot. 2021. № 146. Pp. 369-376. DOI:10.1016/j.psep.2020.09.023

3. Fokin, D. R. Synergistic effect of trace impurities on oxidative processes in methane-air mixtures / Science and Technology: 21st Century Advances : VII научно-практическая конференция аспирантов и магистрантов, Санкт-Петербург, 27 февраля 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2025. – Р. 44. – EDN WDPMDB.

УДК 665.6/.7

Сергеев В.А., Морозова Т.Д., Шакирова О.Г.

(Комсомольский на Амуре  
государственный университет)

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩУЮ ОТРАСЛЬ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОЛЕФИНОВ**

Олефины - одни из самых востребованных соединений, получаемых в ходе переработки нефти и газа. Они используются в химической промышленности для получения различных полимеров, таких как: полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полистирол (ПС) и др., наравне с этим олефины востребованы в химическом синтезе.

В связи с этим возникает вопрос о их наиболее целесообразном получении. Переработку сжиженного природного газа (СПГ) в современном мире практически ничем нельзя улучшить в плане глубины переработки, однако мы можем усовершенствовать технологии переработки сырой нефти с целью повышения выхода не только олефинов, но и других ценных продуктов: ароматических углеводородов и легких бензиновых фракций.

На сегодняшний день проблема заключается в малой доле этилена, получаемого такими способами, как пиролиз углеводородов, крекинг