

К вопросу оценки влияния тяжелых углеводородов на взрывчатость пылеметановоздушных смесей

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-2-41-44>

Приведены табличные данные основных свойств предельных и непредельных углеводородов, токсичных горючих газов, представляющих основные взрывоопасные компоненты шахтной атмосферы. По литературным источникам установлено, что с уменьшением размера частиц нижний концентрационный предел взрываемости угольной пыли может снизиться до 5,8 раза. Рассмотрены взрывчатые свойства тройных смесей (угольная пыль + метан + воздух). Показано, что при содержании в атмосфере 2% метана нижний предел взрываемости угольной пыли может снизиться в четыре раза. Потенциальная пожаровзрывоопасность газов угольных пластов обусловлена присутствием в них метана и его гомологов (тяжелых углеводородов), которые по сравнению с метаном являются более пожаровзрывоопасными, так как имеют более низкие значения температуры воспламенения и нижнего концентрационного предела взрываемости.

Ключевые слова: метан, тяжелые углеводороды, пылеметановоздушная смесь, взрыв газа и пыли, предел взрывчатости.

Для цитирования: Рыбичев А.А. К вопросу оценки влияния тяжелых углеводородов на взрывчатость пылеметановоздушных смесей // Уголь. 2023. № 2. С. 41-44. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-41-44.

РЫБИЧЕВ А.А.

Аспирант НИТУ «МИСиС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: rybichev@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

За три последних десятилетия на высокопроизводительных шахтах России происходили взрывы метана и угольной пыли, приводящие к катастрофическим последствиям. После взрывов метановоздушных и метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах зачастую возникали пожары. Это такие шахты, как: шахта им. Шевякова (1992 г.), «Воркутинская» (1995 г.), «Баренцбург» (1996 г.), «Зырянская» (1997 г.), «Центральная» (1998 г.), «Юбилейная» (2007 г.), «Ульяновская» (2007 г.), «Распадская» (2010 г.), «Северная» (2016 г.), «Листвяжная» (2021 г.) и др. [1, 2].

Катастрофический характер взрывов метана и угольной пыли обусловлен тем, что отложившаяся угольная пыль находится в шахте на протяжении всей сети горных выработок и при взрыве метана переходит во взвешенное состояние, развивая и усиливая взрыв того первоначального количества метана, ущерб от которого без участия пыли был бы не столь катастрофическим. Участие угольной пыли во взрыве метана значительно увеличивает зоны в угольных шахтах, которые подвергаются разрушительным действиям ударной волны, доходящей иногда до шахтного ствола и надшахтных зданий на поверхности [3, 4, 5]. Однако в системе профилактических мероприятий [6, 7], способов и средств борьбы со взрывами в угольных шахтах основной акцент сделан на метан, в то время как правильнее было бы рассматривать все виды горючих и взрывчатых примесей шахтного воздуха в совокупности: метан + пыль + гомологи метана [8, 9].

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ОПАСНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

При внезапных и суфлярных выделениях рудничных газов, а также при нормальном технологическом режиме работы шахты в шахтной атмосфере присутствуют горючие и взрывчатые газы, такие как метан, этан, пропан, бутан, пентан, гексан, этилен, пропилен и др. (табл. 1).

После взрывов пылеметановоздушных смесей образуются водород, оксид углерода; количество метана при этом составляет большую концентрацию, чем до аварии по причине нарушения работы вентиляции выработок и шахты, что представляет большую опасность для горноспасателей при ликвидации аварии.

Основными факторами, определяющими взрывчатость угольной пыли, являются: химический состав пыли, дисперсность пыли, состав атмосферы, влажность пыли, зольность и др. [10, 11]. И хотя каждый из факторов в отдельности достаточно хорошо изучен, сложность заключается в том, что факторы, «накладываясь» друг на друга, существенно могут изменить пределы взрывчатости угольной пыли, и взрыв становится возможен при меньшем содержании угольной пыли, чем это было установлено в лабораторных условиях [12, 13, 14]. Более того, возможно синергетическое действие нескольких факторов одновременно, усиливающее взрывчатые свойства пыли.

Из результатов исследований [15] следует, что размер частиц пыли оказывает существенное влияние на ее взрывчатые свойства таким образом, что при большой массовой концентрации мелкодисперсных частиц нижний концентрационный предел взрываемости пыли может снизиться в 5,8 раза (табл. 2).

При разрушении газоносного угольного пласта в шахтную атмосферу выделяются свободные и сорбированные газы из пласта, а также образуется пыль при отделении угля от массива. Таким образом, шахтный воздух представляет собой смесь компонентов: угольная пыль + метан + гомологи метана + воздух [16]. Главной опасностью таких смесей является то, что в отдельности присутствующие в смеси угольная пыль, метан, гомологи метана не достигают своих нижних пределов взрывчатости, однако все вместе они образуют взрывчатую смесь. Известно, что присутствие метана даже в небольших количествах увеличивает взрывчатую способность угольной пыли.

По данным исследований [15] следует, что при содержании в атмосфере 2% метана нижний концентрационный предел взрываемости (НКПВ) угольной пыли может снизиться в четыре раза (табл. 3).

При больших нагрузках на очистной забой (15-18 тыс. т угля в сутки) в процессе разрушения угля комбайном кроме основного вида выделяющегося из пласта газа метана еще выделяются находящиеся в пласте тяжелые углеводороды (ТУ). Особенно много ТУ в марке угля «Ж» (Кузбасс), по количеству их содержания в угле превалируют пропан и бутан, даже имеется гексан.

Температура воспламенения гексана -233°C, бутана – 405°C, пропана – 470°C. Температура воспламенения

Таблица 1

Пределы взрывчатости горючих природных газов с воздухом (%) при температуре 20°C и давлении 101,3 кПа
Explosion limits of combustible natural gases mixed with air (%) at 20°C and a pressure of 101.3 kPa

Наименование		Пределы взрывчатости	
		Нижний	Верхний
Предельные (насыщенные) углеводороды	Водород	4,00	75,2
	Метан	5,0	15,4
	Этан	3,22	12,5
	Пропан	2,4	9,5
	Бутан	1,9	8,4
	Пентан	1,45	7,8
Непредельные (ненасыщенные) углеводороды	Гексан	1,25	6,9
	Этилен	2,75	28,6
	Пропилен	2,00	11,1
	Бутилен	1,70	9,0

Таблица 2

Влияние содержания мелкой фракции угольной пыли (60 мкм) на ее взрывчатость
Effects of coal dust fines (60 microns) on its explosiveness

Наименование	Объемная доля пыли, %		
	32	65	91
НКПВ угольной пыли, г/м³	257	60	44

Таблица 3

Кратность изменения нижнего концентрационного предела взрываемости угольной пыли
Variation factor of the lower concentration limit of coal dust explosiveness

Наименование	Объемная доля метана, %					
	0,00	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
Кратность изменения НКПВ угольной пыли	1,00	0,75	0,60	0,50	0,35	0,25

метана выше, чем у этих газов и составляет 650-750°C. Нижние концентрационные пределы взрываемости: гексан – 1,25%, бутан – 1,9%, пропан – 2,4%, метан – 5%. При работе комбайнов, шахтных ленточных конвейеров и другого оборудования на выемочном участке могут возникать температуры воспламенения тяжелых углеводородов. Таким образом, от источника теплового импульса могут сначала вспыхнуть тяжелые углеводороды, которые дадут искру для взрыва метана. При взрыве метана находящаяся в выработке угольная пыль поднимается в воздух, нагревается, и из нее выделяются сорбированные ею тяжелые углеводороды, которые придают значительное усиление мощности взрыва метана и угольной пыли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системе профилактики взрывов в угольных шахтах основное внимание направлено на предотвращение взрывов, вспышек метана, так как пожаровзрывоопасность угольных шахт в первую очередь определяется пожаровзрывоопасностью газов угольных пластов, основной составляющей которых является метан. В шахтном воздухе кроме метана иногда присутствуют другие углеводородные газы: ацетилен, этилен, этан, пропан, пропилен, бутан и др., концентрационные пределы воспламенения у которых меньше, чем у метана. Минимальное количество в воздухе близких по составу горючих компонентов, при котором смесь взрывается, определяется по формуле Ле-Шателье [17, 18, 19].

Наличие в горных выработках угольной пыли усиливает мощность взрыва метана и может превратить взрыв небольшого количества метана во взрыв большой мощности. И наоборот, присутствие в атмосфере выработок метана и его гомологов снижает концентрационные пределы взрываемости угольной пыли. Таким образом, пожаровзрывоопасные компоненты шахтного воздуха вместе с угольной пылью проявляются совместно, усиливая действие каждого из них. Это требует комплексного подхода к совершенствованию существующей концепции обеспечения взрывобезопасности горных работ на высокогазоносных угольных пластах, опасных по взрывам пыли. В дальнейших научных исследованиях планируется изучение механизмов генерации углеводородов угольным веществом и угольной пылью, исследование углеводородного состава угля и пыли, влияния структуры угля и пыли на состав и содержание тяжелых углеводородов.

Список литературы

1. Тарасенко И.А., Куликова А.А., Ковалева А.М. К вопросу оценки автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси // Уголь. 2022. № 11. С. 84-88. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-84-88.
2. Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Куликова Е.Ю. Иерархическая структура аэрологических рисков в угольных шахтах // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14. № 2. С. 276-285. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-276-285.
3. Оценка риска аварий с выбросами угля и газа на угольных шахтах на основе факторного анализа и логистической регрессии / Ли Сяньгун, Ли Юй, Фа Цывэй и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 10-1. С. 116-127. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-101-0-116.
4. Qiao W. Analysis and measurement of multifactor risk in underground coal mine accidents based on coupling theory // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 208. Article 107433. DOI: 10.1016/j.res.2021.107433.
5. Research and practice of intelligent coal mine technology systems in China / G. Wang, H. Ren, G. Zhao et al. // International Journal of Coal Science & Technology. 2022. Vol. 9. Article 24. DOI: 10.1007/s40789-022-00491-3.
6. Оценка эффективности системы управления рисками на горнодобывающих предприятиях / Д.К. Жолманов, О.М. Зиновьева, А.М. Меркулова и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 10. С. 166-176. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-10-0-166.
7. Li X., Cao Z., Xu Y. Characteristics and trends of coal mine safety development. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects. 2020. DOI: 10.1080/15567036.2020.1852339.
8. Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Оценка влияния повторно используемых выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 2-1. С. 40-53. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-40-53.
9. Superposition risk assessment of the working position of gas explosions in chinese coal mines / F. Li, X. He, Yue Zhang et al. // Process Safety and Environmental Protection. 2022. Vol. 167. P. 274-283. DOI: 10.1016/j.psep.2022.09.017.
10. Тайлаков О.В., Макеев М.П., Уткаев Е.А. Определение коллекторских свойств угля на основе численного моделирования и в лабораторных исследованиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 9. С. 99-108. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-9-0-99.
11. Эпштейн С.А., Шинкин В.К. Показатели качества углей для разных направлений использования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 4. С. 5-16. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-4-0-5.
12. Филин А.Э., Овчинникова Т.И., Зиновьева О.М., Меркулова А.М. Развитие пульсирующей вентиляции в горном производстве // Горный журнал. 2020. № 3. С. 67-71. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13.
13. Определение промежутков времени, характеризующих различные этапы горения газозвушной смеси в горной выработке / С.В. Черданцев, П.А. Шлапаков, С.И. Голоскоков и др. // Уголь. 2022. № 1. С. 26-32. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-1-26-32.
14. Черданцев С.В., Филатов Ю.М., Шлапаков П.А. Режимы диффузионного горения мелкодисперсных пылегазовоздушных смесей в атмосфере горных выработок // Уголь. 2020. № 2. С. 27-32. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-27-32.
15. Предупреждение взрывов пылеметановоздушных смесей / В.И. Мамаев, Ж.А. Ибраев, В.А. Лигай и др. М.: Недра, 1990. 159 с.
16. Research on Methane Measurement and Interference Factors in Coal Mines / X. Wu, J. Cui, R. Tong et al. // Sensors. 2022. No 22(15). 5608. DOI: 10.3390/s22155608.
17. Ганова С.Д., Скопинцева О.В., Исаев О.Н. К вопросу исследования состава углеводородных газов угольных пластов и пыли с целью возможного прогнозирования их потенциальной опасности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 109-115.
18. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds / S.V. Slastunov, K.S. Kolikov, A.A. Zakharova et al. // Solid Fuel Chemistry. 2015. Vol. 49. No. 6. P. 381-386.
19. Resource types, formation, distribution and prospects of coal-measure gas / C. Zou, Zhi. Yang, Sh. Huang et al. // Petroleum Exploration and Development. 2019. Vol. 46. Is. 3. P. 451-462. DOI: 10.1016/S1876-3804(19)60026-1.

Original Paper

UDC 622.807 © A.A. Rybichev, 2023

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 2, pp. 41-44

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-2-41-44>**Title****ON THE QUESTION OF EVALUATION OF THE INFLUENCE OF HEAVY HYDROCARBONS ON THE EXPLOSIBILITY OF DUST-METHANE-AIR MIXTURES****Authors**Rybichev A.A.¹¹ National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation**Authors Information****Rybichev A.A.**, Postgraduate student, e-mail: rybichev@yandex.ru**Abstract**

Tabular data on the main properties of saturated and unsaturated hydrocarbons, toxic combustible gases, which are the main explosive components of the mine atmosphere, are given. According to literary sources, it has been established that with a decrease in particle size, the lower concentration limit of explosibility of coal dust can decrease by up to 5.8 times. The explosive properties of ternary mixtures (coal dust + methane + air) are considered. It is shown that when the content of methane in the atmosphere is 2%, the lower explosive limit of coal dust can be reduced by 4 times. The potential fire and explosion hazard of coal seam gases is due to the presence of methane and its homologues (heavy hydrocarbons) in them, which, compared with methane, are more fire and explosion hazardous, since they have lower ignition temperatures and a lower concentration explosive limit.

Key words

Methane, Heavy hydrocarbons, Dust-methane-air mixture, Gas and dust explosion, Explosive limit.

References

1. Tarasenko I.A., Kulikova A.A. & Kovaleva A.M. On the issue of assessing the automation of control of the parameters of the methane-air mixture. *Ugol'*, 2022, (11), pp. 84-88. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-84-88.
2. Balovtsev S.V., Skopintseva O.V. & Kulikova E.Yu. Hierarchical structure of aerological risks in coal mines. *Ustojchivoe razvitie gornyx territorij*, 2022; 14 (2): 276-285. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-276-285.
3. Li Xiangong, Li Yu, Fa Ziwei & Alam Easar. Risk Assessment of Coal and Gas Outburst Accidents in Coal Mines Based on Factor Analysis and Logistic Regression. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022; (10-1): 116-127. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-10-1-116.
4. Qiao W. Analysis and measurement of multifactor risk in underground coal mine accidents based on coupling theory. *Reliability Engineering & System Safety*, 2021, (208), article 107433. DOI: 10.1016/j.res.2021.107433.
5. Wang G., Ren H., Zhao G., Zhang D., Wen Z., Meng L. & Gong Sh. Research and practice of intelligent coal mine technology systems in China. *International Journal of Coal Science & Technology*, 2022, (9), article 24. DOI: 10.1007/s40789-022-00491-3.
6. Zholmanov D.K., Zinovieva O.M., Merkulova A.M. & Smirnova N.A. Assessment of risk management efficiency in mines. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022;(10):166-176. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-10-0-166.
7. Li X., Cao Z. & Xu Y. Characteristics and trends of coal mine safety development. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2020. DOI: 10.1080/15567036.2020.1852339.
8. Balovtsev S.V. & Skopintseva O.V. Assessment of the influence of returned mines on aerological risks at coal mines. *Gornyj informatsionno-analiticheskij*

byulleten, 2021;(2-1):40-53. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-40-53.

9. Li F., He X., Zhang Yue, Wang Ch., Tang Jia & Sun R. Superposition risk assessment of the working position of gas explosions in chinese coal mines. *Process Safety and Environmental Protection*, 2022, (167), pp. 274-283. DOI: 10.1016/j.psep.2022.09.017.

10. Tailakov O.V., Makeev M.P. & Utkaev E.A. Numerical modeling and laboratory testing of reservoir properties of coal. *MIAB. Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022; (9): 99-108. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-9-0-99.

11. Epshtein S.A. & Shinkin V.K. Quality indices of coals for different directions of use. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022;(4):5-16. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-4-0-5.

12. Filin A.E., Ovchinnikova T.I., Zinovieva O.M. & Merkulova A.M. Advance of pulsating ventilation in mining. *Gornyi Zhurnal*, 2020, (3), pp. 67-71. (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13.

13. Cherdantsev S.V., Shlapakov P.A., Goloskokov S.I., Erastov A.Yu. & Khaymin S.A. Determination of the time intervals characterizing the various stages of combustion of the gas-air mixture in the mine working. *Ugol'*, 2022, (1), pp. 26-32. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-1-26-32.

14. Cherdantsev S.V., Filatov Yu.M. & Shlapakov P.A. Modes of diffusion combustion of fine dust-gas-air mixtures in the atmosphere of mine workings. *Ugol'*, 2020, (2), pp. 27-32. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-27-32.

15. Mamaev V.I., Ibraev Zh.A., Ligay V.A. et al. Prevention of explosions of dust-methane-air mixtures. Moscow, Nedra Publ., 1990, 159 p. (In Russ.).

16. Wu X., Cui J., Tong R. & Li Q. Research on Methane Measurement and Interference Factors in Coal Mines. *Sensors*, 2022;22(15):5608. DOI: 10.3390/s22155608.

17. Ganova S.D., Skopintseva O.V. & Isaev O.N. On the issue of studying the composition of hydrocarbon gases of coals and dust to predict their potential hazard. *Bulletin Tomskogo Polytehnicheskogo Universiteta. Inzhiniring Georesursov*, 2019, Vol. 330, (6), pp. 109-115. (In Russ.).

18. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Zakharova A.A. & Mazanik E.V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. *Solid Fuel Chemistry*, 2015, Vol. 49, (6), pp. 381-386.

19. Zou C., Yang Zhi., Huang Sh., Ma F., Sun Q., Li F., Pan S. & Tian W. Resource types, formation, distribution and prospects of coal-measure gas. *Petroleum Exploration and Development*, 2019, Vol. 46, (3), pp. 451-462. DOI: 10.1016/S1876-3804(19)60026-1.

For citation

Rybichev A.A. On the question of evaluation of the influence of heavy hydrocarbons on the explosibility of dust-methane-air mixtures. *Ugol'*, 2023, (2), pp. 41-44. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-41-44.

Paper info

Received November 30, 2022

Reviewed December 15, 2022

Accepted January 26, 2023