

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.25.36.003

УДК 622.411.332

© Д.В. Ботвенко, В.Г. Казанцев, 2020

Д.В. БОТВЕНКО

канд. техн. наук,
заведующий лабораторией
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: d.botvenko@nc-vostnii.ru



В.Г. КАЗАНЦЕВ

д-р техн. наук,
заведующий кафедрой
БТИ АлтГТУ, г. Бийск
e-mail: wts-01@mail.ru



ПОДАВЛЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВЗРЫВНОГО ГОРЕНИЯ РУДНИЧНЫХ ГАЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА УСТРАНЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ

Приведены основные принципы по подавлению и локализации взрывного горения рудничных газов, основанные на изменениях скорости потока газозооушной смеси взрывчатой концентрации.

Ключевые слова: АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТЫ, ГАЗО-ВОЗДУШНАЯ СМЕСЬ, ВСПЫШКИ И ВЗРЫВЫ.

Возможность использования аэродинамического и кинематического эффектов устранения возгорания пламени взрывчатых смесей может служить основой при принятии решений по защите горных выработок, газоотводящих сетей, трубопроводов от взрывов метановоздушной смеси (МВС), а также в химической, нефтяной, горнорудной промышленности при конструировании аппаратов взрывозащиты.

Известно, что для воспламенения МВС требуется подвести некоторую минимальную энергию воспламенения. И, наоборот, для тушения пламени энергию горячей МВС требуется отобрать (понизить) до уровня, когда горение становится невозможным. Вследствие этого рассмотрим «условия локализации взрывного горения в связи с потерей энергии потока МВС на преодоление турбулентного трения» [1].

Анализ основывается на результатах многолетних исследований, которые проводились в лаборатории горения газов в ИФХ АН РФ под руководством доктора технических наук, профессора С.М. Когарко; данных ЦИНТЕХИМНЕФТЕМАШ, РосНИИГД, ВНИИавтоген, ВостНИИ, ВНИИгаз, НИИТЕХИМ, МакНИИ; данных наших исследований; исследованиях ряда отечественных и зарубежных специалистов в области горения газовых

смесей: Е.С. Щетинкова, Б.А. Иванова, Я.Б. Зельдовича, А.С. Соколика, В.В. Воеводского, С.П. Старкова, И.И. Стрижевского, А.А. Мясникова, В.Ф. Заказнова, Г. Ельбе, Р. Фогта, Б. Люиса, Ю. Ньюленда, С. Миллера и других [2, 3, 4, 5, 6, 7].

Обобщение многочисленных испытаний различных авторов относительно критических условий горения МВС в трубках по методу горелки в зависимости от скорости потока взрывчатой смеси представлено на рисунке 1.

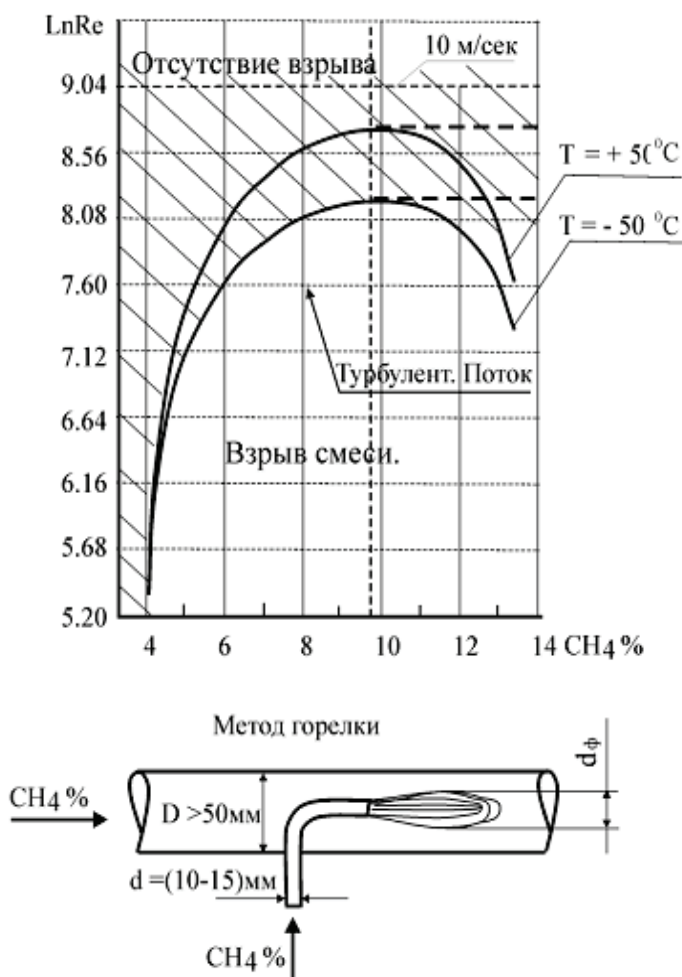


Рис. 1. Обобщенные экспериментальные данные возгорания и взрыва метановоздушной смеси различной концентрации в трубках в зависимости от средней скорости потока газа

Логарифм числа Рейнольдса рассчитан для наибольшего диаметра факела горения горелки d_{ϕ} . Как показывает оценка наличия зажигания и взрыва метановоздушной смеси с различной концентрацией содержания метана в смеси с воздухом, рисунок 1, для наиболее опасного случая — стехиометрического состава смеси метана с воздухом (9,5 % метана по объему) средняя минимальная (критическая) скорость потока газа в трубке, когда возгорание и распространение горения невозможны, находится на превышающем $8 \div 12$ м/сек уровне.

Таким образом, существуют некоторые критические скорости потока метановоздушной смеси, при которых для заданной температуры и взрывчатой концентрации метана возгорание газа становится невозможным.

Процессы возгораний и взрывов метана и угольной пыли в своем большинстве изучаются в лабораторных условиях. Для использования результатов исследований в естественных условиях, понимая, что законы подобия могут неадекватно отображать результаты моделирования при их переносе в реальные условия, требуется провести полномасштабные натурные эксперименты.

Для проведения натурных экспериментов по проверке аэродинамического механизма огнезащиты была использована показанная на рисунке 2 установка с пропускной способностью 600 м³/мин и диаметром входного и выходного воздуховодов 500 мм. При испытаниях использован центробежный вентилятор ВДМ-10. На рисунке 2 представлена схема испытаний [8].

Опишем методику проведения эксперимента.

Была изготовлена корзина из металлической сетки, в которую помещалась навеска карбида кальция — специальный газогенератор ацетилена. Навеска карбида кальция рас-

считывалась исходя из условия, при котором разложение карбида кальция в воде в течение четырех минут создавало концентрацию ацетилена в корпусе установки, соответствующую соотношению 15 % C₂H₂ + воздух. Через 4 минуты включались вентилятор до полной раскрутки, сварочный аппарат до получения устойчивой электродуги между угольными электродами, а также фалом длиной 40 метров из укрытия по команде открывалась шиберная заслонка. После открытия заслонки скорость взрывчатой смеси в выходном патрубке возрастала до 15 м/сек при расходе 3,2 м³/сек [8].

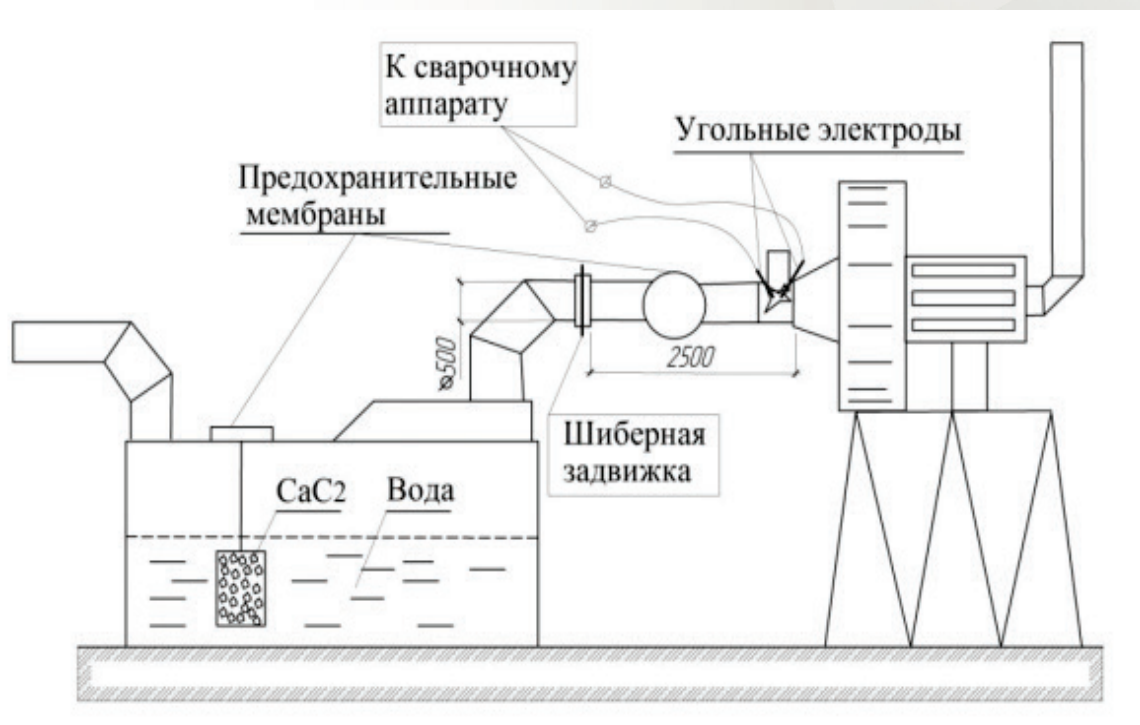


Рис. 2. Схема натурных испытаний по подтверждению аэродинамического эффекта взрывозащиты

При скорости взрывчатой смеси на уровне 15 м/с ни в одном из опытов (проведено 3 эксперимента) воспламенения горючей смеси не происходило.

Дальнейшие опыты проводились при различных скоростях продувки установки. Скорость продувки газовой смеси тарировалась при помощи трубки Пито в выходном патрубке в зависимости от величины открытия заслонки.

Как показали результаты экспериментов, устойчивое, переходящее во взрыв, воспламенение, наблюдалось при скорости потока взрывчатой смеси в трубе менее или равной 8 м/сек.

На рисунке 3 показаны кадры из видеозаписей экспериментов по воспламенению газовой смеси (ацетилен + воздух) в корпусе установки при работающем вентиляторе.

На рисунке 3а показан кадр, когда вентилятор уже набрал обороты, и была задействована электрическая дуга при закрытой задвижке. Стрелкой показана область свечения электродуги перед шиберной задвижкой, которая на этот момент перекрывала газовый тракт.

На рисунке 3б показан кадр, когда шиберная задвижка полностью открыта. Скорость потока газа составляла 15 м/сек. На кадре видно, что горение ацетиленовоздушной смеси идет у электродов, практически занимая сечение трубы. Но пламя не отрывается от электродов — горение есть, взрыва нет.

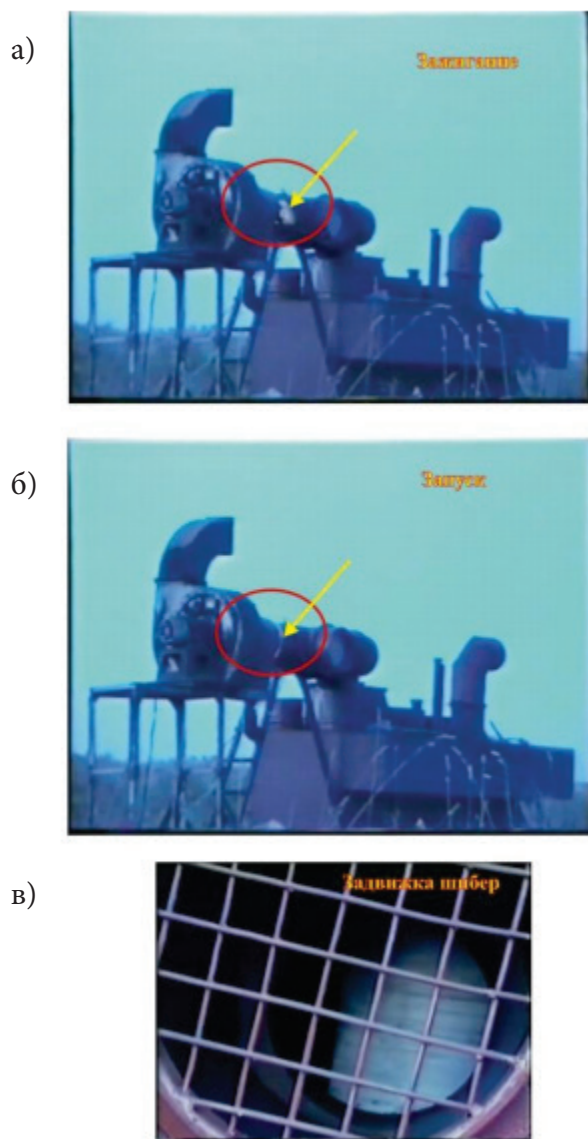


Рис. 3. Кадры из видеозаписи эксперимента по воспламенению взрывчатой смеси (ацетилен + воздух)

Серией проведенных экспериментов подтверждено существование аэродинамического механизма подавления взрывного горения в натуральных условиях. На рисунке 3в показано положение шиберной задвижки, когда скорость потока снижается до уровня ниже критического, и когда горение переходит во взрыв.

При скоростях 3, 5, 7... 15 м/сек взрывчатой концентрации ацетилена с воздухом проводилось больше десяти испытаний. Было установлено, что возгорание и взрывы всегда происходили при скорости транзитного газа в диапазоне от 8 до 10 м/сек. Такие же выводы имеются и в работе [9]. Взрыва не удавалось достичь ни в одном случае, когда скорость взрывчатого газа в трубе диаметром 500 мм превышала 10 м/сек.

Таким образом, на трубах большого диаметра подтверждено существование аэродинамического эффекта подавления горения взрывчатых смесей газов. Полученные результаты, несмотря на различия в диаметрах труб большого диаметра и диаметров трубочек в лабораторных экспериментах, коррелируют с результатами лабораторных испытаний по методу горелки относительно возгорания и взрыва метановоздушной смеси различной концентрации в зависимости от средней скорости потока газа.

Сравнения лабораторных и натуральных экспериментов подтверждают исследования А.А. Соколика, показавшие, что при диаметрах трубы более 50 миллиметров влияние диаметра трубы на теплотери из пламени практически прекращается [2, 10].

Заметим также, что, несмотря на существенные различия в энергетике взрывчатых газовоздушных смесей (ацетилен + воздух и метан + воздух), нижние пороговые значения скоростей потока газа, при которых возможно возникновение взрывного горения, оказываются близкими и находятся на уровне $8 \div 10$ м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мясников А.А., Старков С.П., Чикунов В.И. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах. М.: Недра, 1985. 204 с.
2. Казанцев В.Г., Куимов Р.И. Взрыво- и огнезащита газоотводящих сетей угольных шахт // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2011. № 1. С. 61–71.
3. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Михеладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980. 478 с.
4. Зельдович Я.Б., Компанец А.С. Теория детонации. М.: Гостехтеоретиздат, 1966. 268 с.
5. Щелкин К.И., Трошин Я.К. Газодинамика горения. М.: Изд. АН СССР, 1963. 175 с.
6. Bartknecht, Entwicklungen und Prufungen von explosi-onstechnischen Einrichtungen fur Grubengasabsauganlagen // Shtahl und Eisen. 1964. No. 4. P. 243–244, 260–261.
7. Bartknecht, Entwicklungen und Prufungen von explosi-onstechnischen Einrichtungen fur Grubengasabsauganlagen // Shtahl und Eisen. 1964. No. 5. P. 162–167, 322–329.
8. Казанцев В.Г., Ботвенко Д.В., Филатов Ю.М., Сыпин Е.В., Иванов В.В., Ли А.А., Голоскоков С.И., Родионов А.А., Ли К.Х. Система взрывозащиты газоотводящей сети // Методическое руководство по эксплуатации. Кемерово, 2018. 39 с.
9. Стручалин В.Г. Проблемы фрикционного воспламенения на транспорте // Мир транспорта. 2016. Том 14. № 3 (64). С. 202–211.
10. Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Васенин И.М., Шрагер Э.Р., Крайнов А.Ю., Костеренко В.Н. Обзор данных об эффективности порошковых огнетушащих составов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. № 3. С. 389–394.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.25.36.003

UDC 622.411.332

© D.V. Botvenko, V.G. Kazantsev, 2020

D.V. BOTVENKO

Candidate of Engineering Sciences,
Head Of Laboratory
JSC «SC VostNII», Kemerovo
e-mail: d.botvenko@nc-vostnii.ru

V.G. KAZANTSEV

Doctor of Engineering Sciences,
Head Of Department
BTI AltSTU, Biysk
e-mail: wts-01@mail.ru

SUPPRESSION AND LOCALIZATION OF MINE GASES EXPLOSIVE COMBUSTION USING AERODYNAMIC PRINCIPLE OF FIRE ELIMINATION

Basic principles on suppression and confinement of mine gases explosive combustion based on changes in flow rate of gas-air mixture of explosive concentration are given.

Keywords: AERODYNAMIC AND KINEMATIC EFFECTS, GAS-AIR MIXTURE, FLASHES AND EXPLOSIONS.

REFERENCES

1. Myasnikov A.A., Starkov S.P., Chikunov V.I. Prevention of gas and dust explosions in coal mines. M.: Nedra, 1985. 204 p. [In Russ.].
2. Kazantsev V.G., Kuimov R.I. Explosion and fire protection of gas exhaust networks of coal mines // Industrial safety [Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]. 2011. No. 1. P. 61–71. [In Russ.].
3. Zeldovich Ya.B., Barenblatt G.I., Librovich V.B., Mikheladze G.M. Mathematical theory of combustion and explosion. M.: Nauka, 1980. 478 p. [In Russ.].
4. Zeldovich Ya.B., Kompaneets A.S. Detonation theory. M.: Gostekhteorizdat, 1966. 268 p. [In Russ.].
5. Shchelkin K.I., Troshin Ya.K. Combustion gas dynamics. M.: Ed. AN SSSR, 1963. 175 p. [In Russ.].
6. Bartknecht, Entwicklungen und Prufungen von explosi-onstechnischen Einrichtungen fur Grubengasabsauganlagen // Shtahl und Eisen. 1964. No. 4. P. 243–244, 260–261.
7. Bartknecht, Entwicklungen und Prufungen von explosi-onstechnischen Einrichtungen fur Grubengasabsauganlagen // Shtahl und Eisen. 1964. No. 5. P. 162–167, 322–329.
8. Kazantsev V.G., Botvenko D.V., Filatov Yu.M., Sypin E.V., Ivanov V.V., Li A.A., Goloskokov S.I., Rodionov A.A., Li K.X. Explosion protection system of the gas outlet network // Methodical manual for operation. Kemerovo, 2018. 39 p. [In Russ.].
9. Struchalin V.G. Problems of frictional ignition in transport // World of transport [Mir transporta]. 2016. Vol. 14. No. 3 (64). P. 202–211. [In Russ.].
10. Paleev D.Yu., Lukashov O.Yu., Vasenin I.M., Shrager E.R., Krainov A.Yu., Kosterenko V.N. Review of data on the effectiveness of powder fire-extinguishing compositions // Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources [Naukoyemkiye tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov]. 2017. No. 3. P. 389–394. [In Russ.].