

Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь
Государственное учреждение образования
«Командно-инженерный институт»

На правах рукописи
УДК 621.891

ИВАНОВ Юрий Сергеевич

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ФРИКЦИОННЫХ ИСКР**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность
(промышленность)»

Минск-2008

Работа выполнена в Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук
Колпашиков Виктор Леонидович
Государственное научное учреждение
«Институт тепло- и массообмена
им. А.В. Лыкова» Национальной академии
наук Беларуси, сектор огне- теплозащиты

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Баев Алексей Романович
Государственное научное учреждение
«Институт прикладной физики»
Национальной академии наук Беларуси
доктор физико-математических наук
Доброго Кирилл Викторович
Государственное научное учреждение
«Институт тепло- и массообмена
им. А.В. Лыкова» Национальной академии
наук Беларуси, лаборатория химической
физики.

Оппонирующая организация: Белорусский национальный технический университет

Защита состоится 26 сентября 2008 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь по адресу: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, зал заседаний ученого совета, телефон ученого секретаря: 345-33-54

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь.

Автореферат разослан «20» августа 2008

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент  А.С. Дмитриченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Анализ случаев пожаров и взрывов на промышленных предприятиях показывает, что приблизительно в 25 % их причиной могут являться фрикционные искры, которые представляют собой один из распространенных источников зажигания взрывоопасных сред.

В настоящее время существует большой объем разноречивых данных по поджигающей способности фрикционных искр, что, в свою очередь, приводит к необоснованным требованиям по обеспечению фрикционной безопасности технологических процессов. Требования, не учитывающие реальной опасности фрикционных искр, вызывают неоправданные материальные и трудовые затраты. В действующих технических нормативных правовых актах отсутствуют критерии оценки пожароопасности фрикционных искр и стандартные расчетные и экспериментальные методы определения искробезопасности технологических процессов. Приведенные в стандартах методики носят в основном рекомендательный характер.

Таким образом, разработка новых и уточнение существующих экспериментальных методов и расчетных методик оценки искробезопасности материалов, разработка стандартов для эксплуатации технологического оборудования и инструментов в условиях потенциально взрывопожароопасных газовоздушных, паровоздушных и пылегазовых атмосферах является актуальной задачей.

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Результаты диссертационной работы получены в ходе выполнения задания «Разработать методы оценки фрикционного искрообразования материалов для нормирования их применения во взрывопожароопасных зонах» Государственной научно-технической программы «Защита от чрезвычайных ситуаций» (№ госрегистрации 20052940). Срок выполнения 2005-2007 г.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка надежных критериев и методов оценки опасности возгорания потенциально взрывопожароопасных газо- и паровоздушных сред от фрикционных искр, образующихся в различных технологических процессах, и выработка предложений по изменению действующих технических нормативных правовых актов.

Для достижения поставленной цели в ходе исследования решались следующие задачи:

1. Разработка математической модели процесса фрикционного искрообразования и на ее базе расчетного метода определения зажигающей способности фрикционных искр.

2. Разработка испытательной установки и экспериментального метода для оценки искробезопасности твердых материалов и определения параметров фрикционных искр, возникающих в различных технологических процессах.



3. Разработка методики оценки пожароопасности технологических процессов, сопровождающихся искрообразованием вследствие трения и удара.

Положения, выносимые на защиту

1. Критерий оценки опасности возгорания газо- и паровоздушных смесей, разработанный на основе математического моделирования процессов фрикционного искрообразования.

2. Методика определения пожарной опасности одиночной фрикционной искры, учитывающая теплофизические, геометрические и гидродинамические параметры раскаленной частицы и горючей среды.

3. Методика экспериментального определения вероятности зажигания газо- и паровоздушных смесей, учитывающая параметры технологических процессов, сопровождающихся искрообразованием вследствие трения и удара, и экспериментальный стенд, реализующий данную методику.

4. Методика оценки уровня пожароопасности искрообразующих технологических процессов, основанная на анализе теплофизических, геометрических и гидродинамических параметров фрикционных пар и горючих сред и результатах экспериментальных исследований, позволяющая выработать профилактические мероприятия по ограничению применения искроопасных материалов в технологических процессах.

Личный вклад соискателя

Все результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Научный руководитель принимал участие в постановке задач, определении возможных путей их решения, предварительном анализе и обсуждении результатов теоретических и практических исследований, проведенных автором самостоятельно. В публикациях с соавтором вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертационной работе результатов.

Апробация материалов диссертации

Результаты проведенных исследований докладывались автором на II, III и IV Международных научно-практических конференциях «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» (Минск, 2003 г., 2005 г., 2007 г.), XIX Международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений» (Москва, 2005 г.), Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (Гомель, 2006 г.), XX Международной научно-практической конференции «Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах» (Москва, 2007 г.), VI Минский международный форум по тепло- и массообмену (Минск, 2008 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 15 работ, из них 5 (1,85 авторского листа) соответствуют п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и при-

своении ученых званий в Республике Беларусь, 8 (0,95 авторского листа) – материалы научных конференций и 2 патента на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов и приложений. Работа изложена на 116 страницах, содержит 27 рисунков, 9 таблиц, 6 приложений на 45 страницах, список литературы из 104 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен аналитический обзор литературы по проблеме фрикционного искрообразования.

Анализ существующих стандартов показывает, что определение воспламеняющей способности фрикционных искр проводится расчетным и статистическим методами.

При расчетном методе (ГОСТ 12.1.004-91) определяется время остывания фрикционной искры от температуры плавления до температуры самовоспламенения горючей смеси и количество теплоты, передаваемое горючей среде за это время. При этом используются приближенные соотношения для коэффициента теплоотдачи, не учитывающие его зависимость от температуры, особенности конвективного теплообмена при движении частицы в горючей смеси и теплофизические свойства среды. Предложенный способ определения времени зажигания горючей смеси с помощью определения критерия Фурье графическим методом дает существенные погрешности. Помимо этого в расчетном методе не указаны предельные значения времени остывания искры и количество переданной от нее энергии, по которым можно делать вывод о пожароопасности искры по отношению к данной горючей среде. Отсутствие критериев оценки пожароопасности фрикционных искр делает невозможным использование расчетной методики на практике.

Экспериментальное определение воспламеняющей способности фрикционных искр проводится статистическими методами, основанными на определении вероятности воспламенения горючей смеси. При этом в стандартах отсутствует предельное значение вероятности, на основании которого делается вывод о пожароопасности фрикционных искр. Фрикционные искры в существующих экспериментальных стендах, как правило, генерируются за счет процессов удара (установки копрового типа) либо трения (установки с вращающимся диском). Во ВНИИПО МЧС РФ разработана установка, в которой за счет применения диска со срезанными сегментами объединяются режимы трения и соударения. Экспериментальные стенды в настоящее время не стандартизированы, так как не позволяют создать условия, адекватные реальным технологическим процессам, и исследовать широкий спектр применяемых в них фрикционных материалов и горючих смесей.

На основании проведенного анализа обоснованы основные задачи и направления исследований.

Во второй главе проведено физико-математическое моделирование тепловых полей, возникающих в зоне фрикционного контакта, а также разработан расчетный метод определения зажигающей способности одиночной искры.

Рассмотрен случай фрикционного взаимодействия системы – диск со срезанными сегментами и прижатая к нему пластина, при котором генерация фрикционных искр производится за счет соударения краевых точек срезанных сегментов вращающегося диска с пластиной. Данный вид фрикционного взаимодействия позволяет смоделировать как режим трения, так и режим соударения, что характерно для реальных случаев возникновения фрикционных искр. В описываемом случае происходит столкновение цилиндрической поверхности закругления кромки срезанного сегмента диска и плоской пластинки, вследствие ударного взаимодействия которых значительно повышается температура зоны контакта, что приводит к оплавлению поверхности и уносу расплавленных капель в горючую смесь.

Для оценки деформаций и напряжений, возникающих в контактной зоне соударения края срезанного сегмента диска и пластинки была использована теория соударения упругих тел Герца. Интенсивность тепловыделения в контактной зоне соударения q_f определялась по соотношению

$$q_f = f\nu \left(\frac{1}{t_{\text{yo}}} \int_0^{t_{\text{yo}}} \frac{P(t)}{S(t)} dt \right) = 2f\pi n R_0 \left(\frac{1}{t_{\text{yo}}} \int_0^{t_{\text{yo}}} \frac{P(t)}{S(t)} dt \right), \quad (1)$$

где ν – скорость вращения диска (м/с); f – коэффициент трения; P – удельная нагрузка (Н) на фактической площади касания S (м^2) за время соударения t_{yo} (с); R_0 – радиус диска (м); t – текущее время (с); n – частота вращения диска (с^{-1}).

Рассмотрена задача теплопроводности для контактной зоны соударения закругленного края сегмента и пластинки. Поскольку время соударения очень мало, то сталкивающиеся тела можно считать полуограниченными. При этом по неподвижной прямоугольной площадке контакта на пластинке размерами $a \times b$ (где a – линейный размер (м), определяемый по сжатию пластинки и края сегмента из теории Герца, b – ширина диска (м)) движется закругленный край сегмента со скоростью ν , равной линейной скорости торца диска.

Уравнение теплопроводности представим в виде:

$$\frac{\partial^2 \Theta_i(F_0, \tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})}{\partial \tilde{x}^2} + \frac{\partial^2 \Theta_i(F_0, \tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})}{\partial \tilde{y}^2} + \frac{\partial^2 \Theta_i(F_0, \tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})}{\partial \tilde{z}^2} = \frac{\partial \Theta_i(F_0, \tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})}{\partial F_0} + Pe_i \frac{\partial \Theta_i(F_0, \tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})}{\partial \tilde{x}}, \quad (2)$$

где $\Theta_i = \frac{T_i - T_0}{T_0}$ – безразмерные температуры; T_i – размерные температуры (К); T_0 – начальная температура (К); $\tilde{x} = \frac{x}{a}$, $\tilde{y} = \frac{y}{a}$, $\tilde{z} = \frac{z}{a}$ – безразмерные координаты;

$Pe_i = \frac{v_i a}{\chi_i}$ - критерий Пекле, χ_i - коэффициент температуропроводности ($\frac{м^2}{с}$), со

следующими начальными и граничными условиями:

$$\Theta_i(Fo_i, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = 0, \quad Fo_i = 0; \quad (3)$$

$$\Theta_i(Fo_i, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = 0, \quad \text{при } \bar{x} \rightarrow \pm\infty, \bar{y} \rightarrow \pm\infty, \bar{z} \rightarrow \pm\infty; \quad (4)$$

$$\Theta_1(Fo_1, \bar{x}, \bar{y}, 0) = \Theta_2(Fo_2, \bar{x}, \bar{y}, 0); \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Theta(Fo_i, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z})}{\partial \bar{z}} = \begin{cases} Ki_i, -1 \leq \bar{x} \leq 1, -\frac{b}{a} \leq \bar{y} \leq \frac{b}{a}, \bar{z} = 0 \\ 0, \text{ на всей остальной площади}, \bar{z} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

где $Ki_i = \frac{q_i a}{\lambda_i T_0}$ - критерий Кирпичева; q_i - тепловой поток; λ_i - коэффициент теплопроводности ($\frac{Вт}{м \cdot К}$).

Для диска $i=1$, $v_1 = v = 2\pi R_0$; для пластины $i=2$, $v_2 = 0$

Интенсивность тепловыделения q_f в зоне контакта определяется из соотношения (1) и равняется сумме тепловых потоков, распределяющихся между диском и пластиной q_1 и q_2

$$q_f = q_1 + q_2. \quad (7)$$

Решение граничной задачи (2) - (6) получено в виде:

$$\Theta_i(Fo_i, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = Ki_i W_i(Fo_i, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = Ki_i \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^{2\sqrt{Fo_i}} e^{-\frac{z^2}{u^2}} \times \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\bar{y} + \frac{b}{a}}{u}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\bar{y} - \frac{b}{a}}{u}\right) \right] \times \quad (8)$$

$$\times \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\bar{x} + 1 + \frac{Pe_i u^2}{4}}{u}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\bar{x} - 1 + \frac{Pe_i u^2}{4}}{u}\right) \right] du$$

Средняя температура по контактной площадке определяется из соотношения

$$\bar{\Theta}_i(Fo_i) = Ki_i \int_{-1}^1 \int_{-\frac{b}{a}}^{\frac{b}{a}} W_i(Fo_i, \bar{x}, \bar{y}, 0) d\bar{x} d\bar{y} = Ki_i \bar{W}_i(Fo_i) \quad (9)$$

Распределение безразмерных тепловых потоков в диске Ki_1 и пластине Ki_2 находим по Чичинадзе из условия равенства средних температур на контактной площадке:

$$\bar{\Theta}_1(Fo_1) = \bar{\Theta}_2(Fo_2) \quad (10)$$

С учетом (9) и (10) получим:

$$Ki_1 \bar{W}_1 = Ki_2 \bar{W}_2 \quad (11)$$

Учитывая соотношение (7), имеем:

$$\frac{Ki_1}{Ki_f} = \frac{\bar{W}_2}{\bar{W}_2 + R_2 \bar{W}_1}; \quad \frac{Ki_2}{Ki_f} = \frac{\bar{W}_1}{\bar{W}_2 + R_2 \bar{W}_1}; \quad R_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}; \quad Ki_f = \frac{q_f a}{\lambda_1 T_0} \quad (12)$$

Отсюда зависимость средней температуры на поверхности контакта от времени имеет вид:

$$\bar{\Theta}(Fo) = Ki_f \frac{\bar{W}_1 \bar{W}_2}{\bar{W}_2 + R_2 \bar{W}_1} \quad (13)$$

По формулам (8), (9), (13) были рассчитаны зависимости распределения температуры пластинки по контактной зоне соударения в момент $t = t_{yo}$ для различных фрикционных пар. На рисунке 1 представлена зависимость распределения температуры пластины для пары Сталь 45 – Сталь 45. Результаты расчетов позволили обосновать технические характеристики экспериментального стенда из условия обеспечения возможности генерировать искры за счет достижения контактной зоной температуры плавления материала.

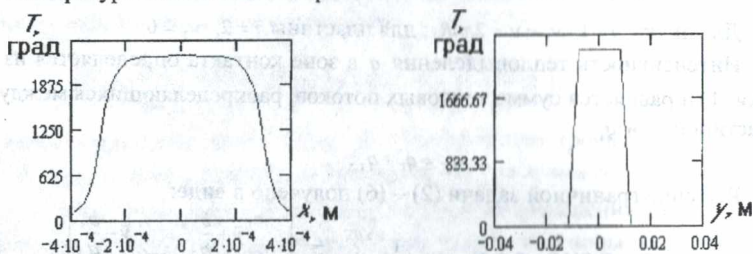


Рисунок 1 – Распределение температуры в контактной зоне соударения края срезанного сегмента (радиус закругления сегмента $1,5 \times 10^{-4}$ м) и стальной пластинки при частоте вращения диска 5500 об/мин

Для определения износа поверхности пластинки, который определяет число генерируемых в процессе эксперимента искр, была решена задача об оплавлении контактной зоны соударения. Расплавленная часть контактной зоны на пластинке переносится на вращающийся диск и удаляется центробежными силами в виде капель расплавленного металла.

Скорость плавления в зоне контакта определяется из соотношения Х. Ландау:

$$\dot{S} = \frac{q_f}{\rho [L + c_p (T_{ns} - T_0)]} \quad (14)$$

где L - удельная теплота плавления ($\text{Дж}/\text{кг}$); c_p - удельная теплоемкость ($\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$); ρ - плотность расплава ($\text{кг}/\text{м}^3$), T_{ns} - температура плавления металла.

Текущее значение толщины расплавленной пленки равно:

$$h = \dot{S} \frac{a}{v}, \quad (15)$$

где a – ширина контактной зоны (m).

Таким образом, за время соударения расплавляется и уносится из зоны контакта средняя масса образца, равная

$$\bar{m} = \rho \bar{V} = \rho \bar{h} \bar{a} b, \quad (16)$$

где b – толщина диска (m); \bar{h} – средняя за время удара толщина расплавленной пленки (m); \bar{a} – средняя за время удара ширина контактной зоны (m); \bar{V} – средний объем расплава (m^3).

С учетом выражений (13) – (15) получим:

$$\bar{m} = \rho \bar{S} \frac{\bar{a}^2}{v} b; \quad \bar{a} = \frac{1}{t_{y0}} \int_0^{t_{y0}} a(t) dt. \quad (17)$$

Расплавленный металл уносится из зоны контакта в виде струйки, распадающейся на капли. Исходя из классического подхода считается, что масса отрывающихся капель определяется из условия равновесных поверхностных и центробежных сил и может быть рассчитана по соотношению

$$m_u = \frac{p\sigma}{\omega^2 R_0}, \quad (18)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкого металла ($кг/с^2$); ω – угловая скорость вращения диска ($с^{-1}$); $p = 2(\bar{h} + b)$ – периметр струи (m).

Отсюда диаметр искры равен:

$$d_u = \left(\frac{6p\sigma}{\rho\pi\omega^2 R_0} \right)^{1/3}, \quad (19)$$

а число частиц, возникающих за время одного удара:

$$n = \frac{\bar{m}}{\bar{m}_u} = \frac{\rho \bar{S} \bar{a}^2 b \omega}{p\sigma}. \quad (20)$$

Время зажигания горючей смеси фрикционной искрой отсчитывается от момента попадания искры в смесь до появления пламени и определяется из решения тепловой задачи об охлаждении раскаленной сферической частицы радиусом r_u от ее начальной температуры до температуры, при которой произойдет зажигание горючей среды:

$$\frac{\partial \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2} + \frac{2}{\bar{r}} \frac{\partial \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}}, \quad Fo > 0, \quad 0 < \bar{r} < 1 \quad (21)$$

при следующих начальных и граничных условиях:

$$\theta(\bar{r}, 0) = 0; \quad (22)$$

$$\left. \frac{\partial \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=1} = Bi[1 - \theta(1, Fo)]; \quad (23)$$

$$\left. \frac{\partial \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=0} = 0, \quad \theta(0, Fo) \neq \infty, \quad (24)$$

где $Fo = \frac{\chi_u t}{r_n^2}$, $Bi = \frac{r_n \alpha}{\lambda}$, $\theta = \frac{T(r, t) - T_0}{T_c - T_0}$, $\bar{r} = \frac{r}{r_n}$, T_0 – начальная температура частицы (K); T_c – температура газовой среды (K); r_n – радиус частицы (м) r – текущий радиус (м), α – коэффициент теплоотдачи ($Bm/m^2 K$), λ – коэффициент теплопроводности частицы ($Bm/m K$), χ_u – коэффициент температуропроводности частицы.

Следуя А.В. Лыкову решение краевой задачи (21) – (24) имеет вид

$$\Theta(\bar{r}, Fo) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{\sin \mu_n \bar{r}}{\mu_n \bar{r}} e^{-\mu_n^2 Fo}, \quad (25)$$

$$\text{где } A_n = (-1)^{n+1} \frac{2Bi \sqrt{\mu_n^2 + (Bi-1)^2}}{\mu_n^2 + Bi^2 - Bi}, \quad \text{а } \mu_n - \text{корни уравнения } \operatorname{tg} \mu_n = -\frac{1}{Bi-1}. \quad (26)$$

При малых значениях критерия Био ($Bi \rightarrow 0$) все коэффициенты $A_n \rightarrow 0$ за исключением первого ($A_1 = 1$), а $\mu_1^2 = 3Bi$. Тогда решение (25) можно записать в виде

$$\Theta(\bar{r}, Fo) \approx 1 - \frac{\sin \bar{r} \sqrt{3Bi}}{\bar{r} \sqrt{3Bi}} e^{-3Bi Fo}. \quad (27)$$

Согласно теории Зельдовича, зажигание горючей газозвушной смеси происходит в случае, если энергия искры достаточна для разогрева до адиабатической температуры сгорания объема газового шарового слоя с радиусом, приблизительно равным четырем толщинам фронта пламени, которая может быть рассчитана по формуле

$$\delta = \chi_z / U_u, \quad (28)$$

где U_u – скорость нормального распространения пламени (м/с), χ_z – температуропроводность газо-воздушной смеси. Тогда объем шарового слоя равен:

$$V_z = \frac{4\pi}{3} \left(3,7 \frac{\chi_z}{U_u} \right)^3. \quad (29)$$

Адиабатическая температура сгорания горючей газозвушной смеси:

$$T_{ad} = T_c + QX_f / c_s, \quad (30)$$

где Q – теплота сгорания смеси ($Дж/кг$); c_s – удельная теплоемкость смеси ($Дж/(кг \cdot K)$), X_f – концентрация горючего компонента.

Для подогрева смеси в объеме шара радиусом $3,7\delta$ от начальной температуры T_c до температуры T_{ad} ему необходимо передать количество тепла, равное:

$$W_{ad} = \rho_s V_z c_s [T_{ad} - T_c]. \quad (31)$$

Такое количество тепла искра передаст газу, если она охладится от начальной температуры T_0 до температуры $T_{кон}$

$$T_o - T_{кон} = \Delta T = \frac{c_z \rho_z V_z (T_{ad} - T_c)}{c_u \rho_u V_u}, \quad (32)$$

где ρ_z , V_z , — плотность и объем смеси; ρ_u , V_u , c_u — плотность, объем и теплоемкость материала искры.

Конечная температура, до которой должна охладиться искра, чтобы прогреть необходимый объем газа V_z , будет равна:

$$T_{кон} = T_o - \left(\frac{c_z \rho_z V_z (T_{ad} - T_c)}{c_u \rho_u V_u} \right). \quad (33)$$

С учетом (27) изменение температуры на поверхности искры можно представить в виде:

$$T = T_c + (T_o - T_c) e^{-3Bi\bar{r}^2}. \quad (34)$$

Тепловой режим поджигания горючих смесей движущимися фрикционными искрами носит нестационарный характер так как шаровой слой газа с характерным радиусом, равным 3.7δ должен быть прогрет до T_{ad} за время контакта τ_p с нагретой искрой. По порядку величины $\tau_p = 2R_u / v$, где R_u — радиус искры, v — скорость полета искры.

Энергия, передаваемая искрой за это время, определится из выражения:

$$W = \rho_u V_u c_u [T_o - T_c] [1 - e^{-3Bi\bar{F}^2}], \quad \bar{F} = \frac{\tau_p \chi_u}{R_u^2}. \quad (36)$$

Теплофизические параметры, входящие в (36) определяются с учетом давления газо-паровоздушной смеси

Таким образом, оценить способность фрикционной искры поджечь горючую смесь можно, произведя сравнение полученного значения W из (36) с минимальной энергией зажигания смеси, определяемой по формуле (31). Отсюда условие искробезопасности получим в виде:

$W < W_{ad}$ — искра безопасна; $W \geq W_{ad}$ — искра является опасной.

Для оценки возможности зажигания горючей смеси поверхностью образца использовалось решение задачи теплопроводности для неограниченной пластины толщины H с заданным тепловым потоком q на одной стороне и конвективным теплообменом с другой стороны

$$\frac{\partial \Theta(\bar{z}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \Theta(\bar{z}, Fo)}{\partial \bar{z}^2}; \quad (37)$$

$$-\lambda \left. \frac{\partial \Theta(\bar{z}, Fo)}{\partial \bar{z}} \right|_{\bar{z}=0} = Ki; \quad (38)$$

$$\lambda \left. \frac{\partial \Theta(\bar{z}, Fo)}{\partial \bar{z}} \right|_{\bar{z}=1} = -Bi \Theta(1, Fo). \quad (39)$$

$$\Theta(\bar{z}, 0) = 0. \quad (40)$$

где $\Theta = \frac{T(z, t) - T_o}{T_o}$, $\bar{z} = \frac{z}{H}$, $Fo = \frac{\chi t}{H^2}$, $Bi = \frac{\alpha H}{\lambda}$, $Ki = \frac{qH}{\lambda T_o}$

Тепловой поток на поверхности пластины рассчитывается как сумма тепловых потоков от одиночных ударов (1) за время проведения эксперимента. Решение краевой задачи (37) – (40) записывается в виде

$$\Theta(\tilde{z}, Fo) = Ki \left\{ 1 - \tilde{z} + \frac{1}{Bi} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\mu_n \tilde{z}) \exp(-\mu_n^2 Fo) \right\}, \quad (41)$$

где $A_n = \frac{2(\mu_n^2 + Bi^2)}{\mu_n^2(\mu_n^2 + Bi^2 + Bi)}$; μ_n – корни уравнения $\text{ctg} \mu_n = \frac{\mu_n}{Bi}$ (42)

На основе (41) оценивалась максимальная температура поверхности пластины и показано при каких условиях она не может зажечь горючую смесь. Таким образом, были определены технические характеристики фрикционной пары, при которых зажигание горючей смеси обеспечивается только от искр.

В третьей главе описана схема экспериментального стенда, методика и результаты экспериментальных исследований.

За основу экспериментального стенда принята испытательная установка ВНИИПО МЧС Российской Федерации, модернизированная с учетом обоснованных в математической модели технических параметров. Принципиальная схема стенда приведена на рисунке 2.

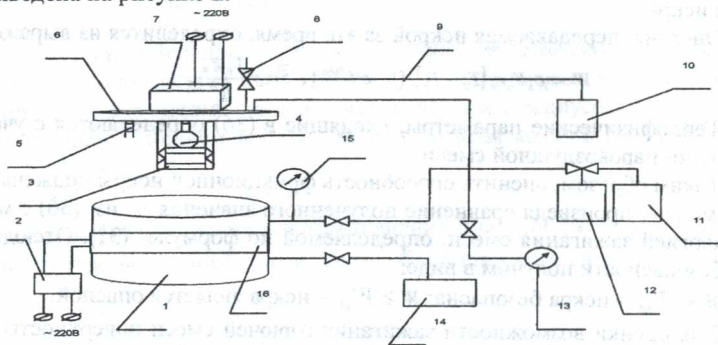


Рисунок 2 – Принципиальная схема экспериментального стенда

1 – реакционный сосуд; 2 – система терморегулирования; 3 – прижимное устройство; 4 – вращающийся диск; 5 – испытуемый образец; 6 – свеча зажигания; 7 – крышка; 8 – электродвигатель с передаточным механизмом; 9 – арматура газовая; 10 – трубопровод; 11 – компрессор; 12 – сосуд для приготовления паровоздушной смеси; 13 – газовый баллон; 14 – вакуумметр; 15 – вакуумный насос; 16 – манометр; 17 – нагреватель

В отличие от испытательной установки ВНИИПО в экспериментальном стенде реализована возможность проведения испытаний как газозвушных так и паровоздушных смесей, что достигается применением системы приготовления паровоздушных смесей. Данная система состоит из подогреваемого сосуда для приготовления пара (12), компрессора (11), трубопроводов (10), запорной арматуры

(9) и системы автоматического регулирования температуры взрывоопасной смеси в реакционном сосуде (2), позволяющей исключить конденсацию пара на стенках сосуда.

Отличительной особенностью разработанного стенда по сравнению с испытательной установкой ВНИИПО является так же возможность изменения силы прижатия элементов фрикционных пар, реализованная в механизме держателя образца (3) и варьирование скорости вращения диска (4) в диапазоне, соответствующем реальным технологическим процессам (0 – 5500 об/мин).

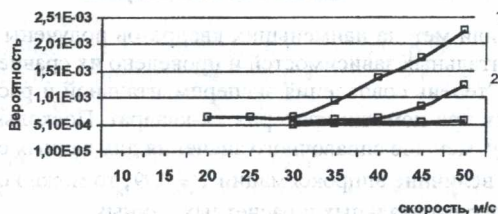
В экспериментальном стенде использованы средства измерения, позволившие определить термомеханические параметры фрикционных искр: размеры частиц, их массу, количество и среднюю температуру поверхности фрикционного контакта.

Таким образом, экспериментальный стенд представляет собой генератор искр на фрикционном контакте с широким диапазоном изменения технических параметров процесса. При генерации искр на фрикционном контакте испытуемой пары вероятность зажигания P горючей газо- или паровоздушной смеси фрикционными искрами пары определяется по формуле

$$P = \frac{M}{t_{\text{исп}} N}, \quad (43)$$

где M – количество зажиганий горючей газо- или паровоздушной смеси; $t_{\text{исп}}$ – общее время испытания; N – число соударений в единицу времени.

Результаты проведенных испытаний представлены на рисунке 3. из которого видно, что для различных фрикционных пар в широком диапазоне изменения параметров взаимодействия значение вероятности зажигания горючей газо- и(или) паровоздушной смеси превышает 10^{-5} .



1 – Сталь 45 – Сталь 45; 2 – Сталь 45 – алюминиевый сплав Д16; 3 – Сталь 45- плитка керамическая кислотоупорная

Рисунок 3 – Зависимость вероятности зажигания смеси паров бензина с воздухом от скорости фрикционного взаимодействия

Проведено экспериментальное исследование геометрических размеров, массы и количества генерируемых фрикционных частиц. Время эксперимента состав-

ляло 60 с для исключения большого износа элементов контакта. Сбор частиц осуществлялся на инертную среду при различных нагрузках и скорости вращения диска. Путем взвешивания пластины до и после эксперимента определялась суммарная масса фрикционных искр. При помощи микроскопа оценивались их средние размеры и рассчитывалась масса отдельной частицы и их количество. Установлено, что размеры фрикционных частиц лежат в диапазоне $1 \cdot 10^{-4} \text{ м} < d_u < 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$.

На рисунке 4 представлены зависимости количества фрикционных искр от времени контакта при вращении диска со скоростью $\omega = 576 \text{ рад/с}$ и нагрузке на пружины 10 Н для различных материалов. Линии на рисунке соответствуют результатам расчета по формуле (19), точки – результатам эксперимента.

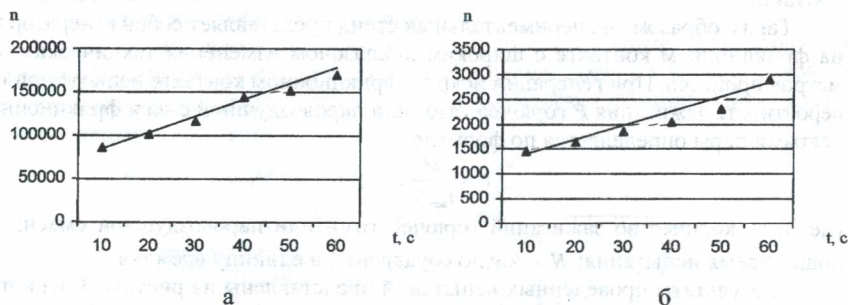


Рисунок 4 – Зависимость количества фрикционных искр от времени для фрикционной пары: а – Сталь 45 – Сталь 45; б – Сталь 45 – плитка керамическая кислотоупорная

При помощи метода наименьших квадратов получены уравнения регрессии для экспериментальных зависимостей и проведено их сравнение с расчетными зависимостями. Степень совпадения экспериментальной и расчетной зависимостей устанавливалась при помощи критерия хи-квадрат. Поскольку полученные значения критерия χ^2 меньше справочного значения для данных степеней свободы при доверительной величине аппроксимации $P = 0,99$, то можно отметить хорошее соответствие экспериментальных и расчетных данных.

Для проверки соотношения (41) были проведены измерения температуры пластины на заглублении 0,5 см в центре следа износа. Зависимость температуры образца от времени для двух фрикционных пар при нагрузке 10 Н и двух скоростях вращения диска представлены на рисунке 5. Линии на рисунке соответствуют результатам расчета по формуле (41), точки – результатам эксперимента. Максимальное отклонение результатов расчета от эксперимента составляет 15 %.

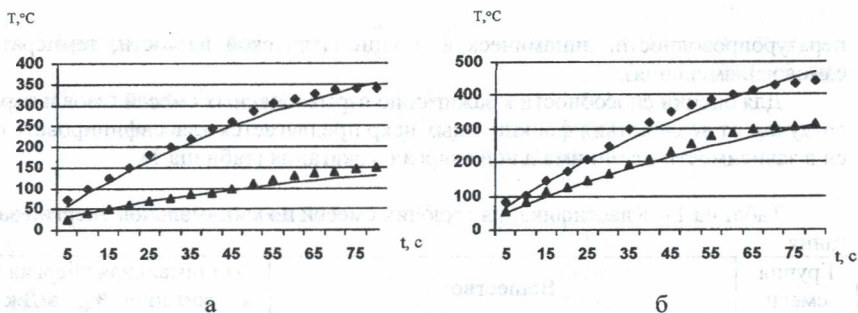


Рисунок 5 – Зависимость температуры (T) под контактной зоной нагрева пластинки от времени (t) при максимальной нагрузке на образец и различной скорости вращения (\blacksquare – 5500 мин⁻¹, \blacktriangle – 1500 мин⁻¹): а – сталь; б – алюминий

Как видно из приведенных зависимостей, максимальная температура поверхности пластинки не превышает 450 °С, что существенно меньше температуры воспламенения исследованных горючих смесей. Таким образом, накалившая поверхность пластинки не может служить источником зажигания в процессе проведения эксперимента (время фрикционного взаимодействия составляет 60 с).

В четвертой главе приводится методика оценки пожароопасности технологических процессов, сопровождающихся искрообразованием.

Обосновано, что уровень искробезопасности технологического процесса определяется следующими параметрами: материалом элементов, составляющих фрикционную пару, скоростью фрикционного взаимодействия и видом горючей смеси. В зависимости от численного значения относительной скорости перемещения элементов, составляющих фрикционную пару, предложена следующая классификация технологических операций:

Ф1 – подвижные трущиеся соединения, например уплотнения подшипниковых узлов двигателей, шарнирные соединения оконных переплетов (до 10 м/с);

Ф2 – ходьба в подбитой набойками обуви, работа с ударным инструментом (10–20 м/с);

Ф3 – движение автотранспорта (20–30 м/с);

Ф4 – работа станков, конвейеров, операции, связанные с резанием, сверлением (30–40 м/с);

Ф5 – движение железнодорожного транспорта (40–50 м/с);

Ф6 – рабочее колесо в вытяжных вентиляторах и др. (более 50 м/с).

В настоящее время способность к зажиганию взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом характеризуется их температурами самовоспламенения. Вместе с тем способность смеси к воспламенению от воздействия фрикционных искр характеризуется ее минимальной энергией зажигания W_{\min} , зависящей от теплофизических и механических параметров смеси (теплоемкости, теплопроводности, тем-

пературопроводности, динамической и кинематической вязкости, температуры самовоспламенения).

Для оценки способности к зажиганию взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом от воздействия фрикционных искр предлагается классифицировать смеси в зависимости от минимальной энергии зажигания (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация горючих смесей по минимальной энергии зажигания

Группа смеси	Вещество	Минимальная энергия зажигания, W_{\min} , мДж
I	Ацетилен, водород, этилен	0,01 – 0,1
II	Метанол, этанол, бензин, пропилен	0,1 – 0,2
III	Изопентан, n-пентан, n-гептан, n-гексан, n-бутан, пропан, этан, октан, метан	0,2 – 0,3
IV	Изобутан, ацетон, аммиак	Более 0,3

Таким образом, методика оценки пожароопасности технологических процессов заключается в следующем:

1. Технологический процесс разбивается на операции в соответствии с численным значением скорости относительного перемещения элементов фрикционных пар.

2. Определяются материалы элементов фрикционных пар, которые могут реализовываться в каждой операции.

3. Устанавливаются группы опасных смесей, которые могут сопровождать операцию.

4. По результатам испытаний определяется вероятность зажигания взрывоопасной смеси газов или паров с воздухом от фрикционных искр на данной скорости фрикционного взаимодействия.

5. Полученное значение вероятности сравнивается с предельным значением $P_{\text{пред}} = 10^{-5}$ и делается вывод об искроопасности фрикционной пары при работе в данной среде. Количественным критерием является выполнение условий:

$P \geq P_{\text{пред}}$ – фрикционная пара считается искроопасной,

$P < P_{\text{пред}}$ – фрикционная пара считается искробезопасной.

6. Исходя из искроопасности каждой технологической операции оценивается пожароопасность всего технологического процесса.

В таблице 2 представлены примеры оценки пожароопасности различных технологических операций, выполненных по п. 2–5 изложенной методики.

Таблица 2 – Искроопасность различных технологических операций, сопровождаемых ударом и трением

Фрикционная пара	Группа опасной смеси	Класс фрикционного контакта	Искроопасность фрикционной пары
Сталь 45 - Сталь 45	I-IV	Ф1	-
	I-III	Ф2-Ф6	+
	IV	Ф1-Ф2 Ф3-Ф6	- +
Сталь 45 – сплав алюминиевый Д16	I-IV	Ф1	-
	I-II	Ф2-Ф6	+
	III-IV	Ф2-Ф6	-
Сталь 45 –плитка керамическая кислотоупорная	I-IV	Ф1	-
	I-II	Ф5-Ф6	+
	III-IV	Ф1-Ф5	-
Сталь 45 – напольное покрытие на основе эпоксидной смолы	I-IV	Ф1-Ф6	-

Разработанная методика оценки пожароопасности различных технологических процессов, сопровождаемых ударом и трением, позволяет выработать профилактические мероприятия по ограничению применения искроопасных материалов в технологических операциях, составляющих технологический процесс. Результаты исследований были рекомендованы для предприятий концерна «Белнефтехим» (нефтепереработка, хранение и транспортировка легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и газов), хладокомбинаты, хранилищ пищевых продуктов, изготовителей противопожарных дверей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основные научные результаты диссертации

1.1 Разработана математическая модель динамического поведения генератора фрикционных искр (пластина, прижатая пружинами к вращающемуся диску со срезанными сегментами). С использованием теории Герца рассчитаны деформации и напряжения, возникающие в зоне соударения края сегмента и пластины. Получены выражения для интенсивности тепловыделения в зоне фрикционного контакта. Решена задача теплопроводности для контактной зоны соударения края сегмента диска и пластины и получены аналитические выражения для распределения температуры поверхности фрикционного контакта. Рассчитаны и определены технические характеристики экспериментального стенда, обеспечивающие возможность генерировать искры за счет достижения контактной зоной температуры плавления материала [3, 5, 6].

1.2 Создан экспериментальный стенд, позволяющий проводить оценку искроопасности широкого спектра технических материалов при различных режимах фрикционного контакта, соответствующих реальным технологическим процессам. Экспериментально определено значение предельной вероятности зажигания по-

тенциально опасной смеси ($P = 10^{-5}$), начиная с которой материал считается искроопасным [1, 2, 7, 8, 13, 14].

1.3 Экспериментально подтверждены теоретические оценки для массы, диаметра и количества фрикционных частиц, образующихся при взаимодействии фрикционной пары. Показано, что размер фрикционных частиц зависит от материалов фрикционной пары, режимов фрикционного взаимодействия и не превышает $0,5 \times 10^{-3}$ м [4–6].

1.4 Проведены теоретические оценки зажигающей способности одиночной фрикционной искры. Данная способность определяется путем расчета энергии, которую горючая смесь получает за время контакта с движущейся искрой. Критерием оценки зажигания является превышение рассчитанной энергии над минимальной энергией зажигания горючей смеси. [4]

1.5 Решена задача теплопроводности о распределении температуры в плоском образце, поверхность которого подвергается ударам сегментов вращающегося диска для выбора времени проведения эксперимента по зажиганию газозвдушной смеси только от фрикционных искр. Результаты расчета подтверждены экспериментальными исследованиями [5, 6, 15].

1.6 Разработана методика оценки пожарной безопасности технологических процессов, сопровождающихся образованием механических искр. Показано, что основными параметрами, определяющими пожарную безопасность технологического процесса, являются свойства материалов фрикционной пары, скорость фрикционного взаимодействия и минимальная энергия зажигания горючей смеси. Методика положена в основу СТБ 11.05.04-2007 «Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы контроля фрикционной искробезопасности» и позволяет выработать профилактические мероприятия по ограничению применения искроопасных материалов в технологических процессах [4, 9–12].

2. Рекомендации по практическому использованию результатов

2.1 Разработанный экспериментальный стенд для оценки искробезопасности технических материалов и методика проведения испытаний внедрены в Научно-исследовательском институте пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь и используются при проведении сертификационных испытаний по определению искробезопасности фрикционных пар (Аттестат аккредитации ВУ № 112 02.1.0.0042).

2.2 Результаты диссертационных исследований использованы при разработке СТБ 11.05.04-2007 «Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы контроля фрикционной искробезопасности» (Постановление Госстандарта Республики Беларусь от 28.06.2007 № 35).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Иванов, Ю.С. Пожарная опасность фрикционных искр и методы ее определения // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2004. – №5(15). С.56-64.
2. Иванов, Ю.С. Метод экспериментальной оценки пожарной опасности фрикционных искр / Ю.С. Иванов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2004. – № 6(16). С. 47–53.
3. Иванов, Ю.С. Моделирование тепловых полей, возникающих в зоне фрикционного контакта / Ю.С. Иванов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2004. – № 8(18). С.43–47.
4. Ivanov, J.S. Fiziko-matematyczny model procesu iskrzenia ciernego / J.S. Ivanov // Bezpieczenstwo I Technika Pożarnicza. – 2007. – №2. S. 57–65.
5. Моделирование процесса искрообразования на установке с вращающимися ударными элементами / Ю.С. Иванов [и др.] // Тепло- и массоперенос – 2007. Минск: «ИТМО им. А.В.Лыкова» НАНБ, 2007. С. 301 – 308.
6. Иванов, Ю.С. Исследование процессов тепломассопереноса в зоне фрикционного контакта для определения пожарной опасности фрикционных искр / Ю.С. Иванов, В.Л. Колпашиков, С.Ю. Яновский // Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация». – Минск, 2007г., С. 136 – 149
7. Иванов, Ю.С., Лущик, А.П. Исследование искроопасности веществ и материалов / Ю.С.Иванов, А.П. Лущик, // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: тезисы докладов II Междунар. науч. – практ. конф., Минск, 23–25 июля 2003г.: в 3 ч. – Минск, 2003. – Ч1., С.195-196.
8. Иванов, Ю.С. Определение пожарной опасности фрикционных искр / Ю.С.Иванов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: тезисы докладов II Междунар. науч. – практ. конф., в 3 т. – Минск, 2005г., Т1., С.261-264.
9. Иванов, Ю.С. Определение пожарной опасности фрикционных искр. Развитие методики определения пожароопасных параметров / Ю.С. Иванов, В.Л. Колпашиков, С.Ю. Яновский // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений: тезисы докладов Междунар. науч. – практ. конф. – Москва, 2005г., С. 156 –158
10. Иванов, Ю.С. О необходимости внесения изменений в действующую нормативную документацию в части определения фрикционной искроопасности веществ и материалов / Ю.С.Иванов // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: тезисы докладов Междунар. науч. – практ. конф. – Гомель, 2006, С.121–122.
11. Иванов, Ю.С. Уровень пожарной безопасности технологических процессов, сопровождаемых операциями, способными инициировать фрикционные искры / Ю.С. Иванов, В.Л. Колпашиков // Чрезвычайные ситуации: предупреждение



и ликвидация: тезисы докладов IV Междунар. науч. – практ. конф. – Минск, 2007 г., Т2., С.70-72.

12. Иванов, Ю.С. Определение уровня пожарной безопасности технологических процессов, сопровождаемых операциями, способными инициировать фрикционные искры / Ю.С.Иванов // Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах: тезисы докладов Международной научно-практической конференции. – Москва, 2007 г., С. 42 – 44.

13. Реакционный сосуд устройства для испытания твердых материалов на искрообразование: пат.3617 Респ. Беларусь, МПК (2006) G01 N 3/60, A62C 3/00/ А.Н. Кудряшов, А.П. Лущик, Ю.С. Иванов, А.С. Климович. И.М. Стрижак; заявитель НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси. – № и 20060788; заявл. 24.11.2006; опубл. 30.06.2007// Афіцыйны бюл./ Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – С.227.

14. Устройство для испытания твердых материалов на искрообразование: пат.3629 Респ. Беларусь, МПК (2006) G01 N 3/60, A62C 3/00/ А.Н. Кудряшов, А.П. Лущик, Ю.С. Иванов, А.С. Климович. И.М. Стрижак; заявитель НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси. – № и 20060779; заявл. 20.11.2006; опубл. 30.06.2007// Афіцыйны бюл./ Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – С.226.

15. Иванов Ю.С. Моделирование термомеханических процессов в зоне фрикционного контакта для определения пожарной опасности искр трения и удара /Ю.С. Иванов, В.Л. Колпашиков, С.Ю. Яновский // 6 Минский международный форум по тепло- и массообмену: тезисы докладов и сообщений. – Минск, 2008 г.- С.211-213.

РЕЗЮМЕ

Иванов Юрий Сергеевич

Пожарная безопасность технологических процессов при возникновении фрикционных искр, инициированных вследствие трения и удара

Ключевые слова: фрикционные искры, фрикционный контакт, искробезопасность, испытательная установка, моделирование.

Объектом исследования являются технологические процессы, реализуемые на предприятиях со взрывопожароопасным производством.

Предметом исследования являются искры, инициируемые фрикционным контактом твердых материалов, изделий и оборудования, способных являться источником зажигания взрывоопасных смесей газов и (или) паров с воздухом.

Целью работы является разработка научнообоснованных критериев и методов оценки опасности возгорания потенциально взрывопожароопасных газо- и паровоздушных сред от фрикционных искр, образующихся в различных технологических процессах, и разработка предложений по изменению в действующую нормативную документацию.

Методы исследования. В диссертационной работе применяется формирующий эксперимент и математическо-статистическая обработка экспериментальных данных.

Полученные результаты. Разработан экспериментальный стенд, позволяющий осуществлять оценку искроопасности твердых материалов при различных видах фрикционного контакта, соответствующих реальным технологическим процессам, и экспериментально обосновано значение предельной вероятности зажигания потенциально опасной смеси. Теоретически рассчитаны и экспериментально подтверждены механические и геометрические параметры фрикционных искр. Теоретически решена задача по определению зажигающей способности одиночной фрикционной искры с учетом поправки на возможность зажигания горючей смеси не от фрикционных искр, а от разогретой поверхности. Данная способность определяется путем сравнения энергии, которую движущаяся частица отдает горючей смеси за время перемещения на расстояние, сравнимое с радиусом газового шарового слоя, с минимальной энергией зажигания горючей смеси. Разработана методика оценки пожарной безопасности технологических процессов, сопровождающихся выделением механических искр.

Степень использования. Результаты исследований использованы при разработке СТБ 11.05.04-2007 «Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы контроля фрикционной искробезопасности», применяемом в НИИ ПБ и ЧС при проведении сертификационных испытаний по определению искробезопасности фрикционных пар.

Область применения. Пожарная и промышленная безопасность, пожарная профилактика, прогнозирование и мониторинг чрезвычайных ситуаций.

РЭЗІЮМЭ

Іваноў Юрый Сяргеевіч

Пажарная бяспечнасць тэхналагічных працэсаў пры ўзнікненні фрыкцыйных іскр, ініцыраваных у выніку трэння і ўдару.

Ключавыя словы: фрыкцыйныя іскры, фрыкцыйны кантакт, іскрабяспечнасць, выпрабавальная ўстаноўка, мадэліраванне.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца тэхналагічныя працэсы, рэалізуюцца на прадпрыемствах з выбуховапажаранебяспечнай вытворчасцю.

Прадметам даследавання з'яўляюцца іскры, ініцыраваныя фрыкцыйным кантактам цвёрдых матэрыялаў, вырабаў і абсталявання, здольных з'яўляцца крыніцай запальвання выбухованебяспечных сумесей газаяў і (альбо) параў з паветрам.

Мэтай работы з'яўляецца разпрацоўка навуковаабаснаваных крытэрыяў і метадаў адзнакі небяспекі ўзгарання патэнцыяльна выбуховапажаранебяспечных газа- і пара-паветраных асяродзяў ад фрыкцыйных іскр, узнікаючых у розных тэхналагічных працэсах, і разпрацоўка прамой па змяненню ў дзеючую нарматыўную дакументацыю.

Метады даследавання. У дысертацыйнай рабоце прымяняецца фарміруючы эксперымент і матэматычна-статыстычная апрацоўка эксперыментальных дадзеных.

Атрыманая вынікі. Разпрацаваны эксперыментальны стэнд, дазваляючы ажыццяўляць адзнаку іскранебяспечнасці цвёрдых матэрыялаў пры розных відах фрыкцыйнага кантакту, адпаведных сапраўдным тэхналагічным працэсам, і эксперыментальна абаснавана значэнне гранічнай вераятнасці запальвання патэнцыяльна небяспечнай сумясі. Тэарэтычна падлічаны і эксперыментальна падцвержаны механічныя і геаметрычныя параметры фрыкцыйных іскр. Тэарэтычна вырашэна задача па вызначэнню запальваючай здольнасці адзіночнай фрыкцыйнай іскры з улікам папраўкі на магчымасць зажыгання гаручай сумясі не ад фрыкцыйных іскр, а ад разагрэтай павехні. Гэтая здольнасць вызначаецца шляхам параўнання энергіі, якую двіжучыся часцінка аддае гаручай сумясі за час перамяшчэння на растаянне, параўнальнае з радыусам газавога шаравога слою, з мінімальнай энергіяй запальвання гаручай сумясі. Разпрацована метадка адзнакі пажарнай бяспечнасці тэхналагічных працэсаў, суправаджаючыхся выдзяленнем механічных іскр.

Ступень выкарыстання. Вынікі даследаванняў выкарыстаны пры разпрацоўке СТБ 11.05.04-2007 «Сістэма стандартаў пажарнай бяспекі. Пажарная бяспечнасць тэхналагічных працэсаў. Метады кантролю фрыкцыйнай іскрабяспечнасці», прымяняюцца у НДІ ПБ І НС пры правядзенні сэртыфікацыйных выпрабаванняў па вызначэнню іскрабяспечнасці фрыкцыйных пар.

Вобласць выкарыстання. Пажарная і прамысловая бяспека, пажарная прафілактыка, прагназаванне і маніторынг надзвычайных сітуацый.

SUMMARY

Yuri S. Ivanov

Fire Protection of Technological processes at occurrence of friction sparkles, induced as a result of friction or direct hit.

Key words: friction sparkles, friction contact, sparkle protection, testing facility, and modeling.

Research object is a technological process which takes place on the plants production line that uses potentially explosive substances.

Research subject is a sparkle induced by a friction contact with the solid materials, samples and equipment that can be a potential source to ignite the explosive gas composition if oxygen becomes accessible.

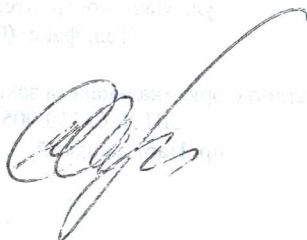
The purpose of work is to develop the research criteria, to measure the alert level for the ignition of explosive gas and gas-steam mixture from friction sparkles which take place in various processes and to circle necessary changes in the documentation of the existing normative process.

Research methods. Statistical analyses of experiment and forming experiment method are used in this research.

Obtained results. The testing facility capable to measure the sparkle capacity of solid materials at various friction contacts should correspond to the real technological processes. The value of finite probability of ignition of gas mixture was experimentally measured. The task to determine sparkle capability of burning mixture accounting the probability to ignite from hot surface but not from friction sparkles was completed. This is determined by comparison of the energy transfer from the hot particle to a hot mixture. The time counted is given for a particle to move at the distances that can be compared to the radius of circle gas layer when igniting mixture energy is minimal. The evaluation methodology of the fire protection of the technological processes capable to cause the mechanical sparkles was developed.

Application extent. The results were applied to STB 11.05.04-2007 "System of standarts for fire safety. Fire safety of technological processes. Control methods of frictional spark-safety" used at RIFS when conducting the certification testing to measure the sparkle protection of the friction surfaces.

Field of application. Fire industrial protection, preventive maintenance, forecast and monitoring of accidents.



Подписано в печать 6.08.2008 Формат 60x84/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times. Отпечатано на ризографе. Усл.печ.л. 1.39
Уч.-изд.л.1.22 Тираж 60 экз. Заказ 427

Государственное учреждение образования
«Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь
ЛИ № 02330/ 0133406 от 14.12.2004
ул. Машиностроителей,25, 220118, Минск
Тел./факс: (017) 340-35-57

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в типографии УП «ЦНИИТУ»
ЛП № 02330/0056675 от 29.03.2004
пр. Партизанский, 2, корп.4, 220033, Минск

