

УДК 667.661.92

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПО ХРАНЕНИЮ И ПЕРЕРАБОТКЕ ЗЕРНА

Л. ВОГМАН, д-р техн. наук, А. ХРЮКИН, ВНИИПО МЧС России

E-mail: vniipo-3-5-3@ya.ru

На основе экспериментальных и расчетных данных разработана методика оценки пожаровзрывоопасности систем вентиляции, в частности, систем местных отсосов на предприятиях по хранению и переработке зерна, зернопродуктов и комбикормов. Она позволяет выполнить расчеты, определить расход воздуха, условия конденсации паров горючих жидкостей и их совместимость в воздуховодах. Предлагаемая методика впервые апробирована при оценке пожарной опасности местных отсосов на мукомольном комбинате «Воронежский».

Ключевые слова: пары горючих жидкостей, горючая пыль, отложения, пожарная безопасность, воздуховоды вентиляционных систем, расчет.

Системы местных отсосов устанавливают на технологическом оборудовании с пожаровзрывоопасными технологическими процессами, если необходимо предотвратить попадание горючих газов, паров и пыли в воздуховоды приточно-вытяжной вентиляции. К системам местных отсосов предъявляются повышенные требования по герметичности и изолированию от других систем приточно-вытяжной вентиляции. Они должны быть, как правило, оснащены резервным вентилятором или сблокированы с аварийной вентиляцией [1, 2].

Пожаровзрывоопасность местных отсосов обусловлена возможностью образования горючих паро-, газо- и пылевоздушных смесей в воздуховодах и технологическом оборудовании и (или) появлением в них отложений. Цель применения новых расчетных методов [3] — разработка профилактических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности воздуховодов вентиляционных систем, в частности, систем местных отсосов, на которых концентрируется зерновая пыль.

Совместимость горючих веществ друг с другом и с окислителями приводит к их способности взрываться и гореть при взаимодействии, что вызывает опасность возгорания внутри системы воздуховодов вытяжной вентиляции.

An experimental and computation method of evaluation of fire-explosive hazard of the ventilation systems is developed, in particular, systems of local exhausts of the enterprises for storage and processing of grain and grain products. It allows to performing calculations for determine air flow; making the electrical equipment selection and the conditions of vapors condensation of flammable liquids and their compatibility in ducts. The methodology is developed for the first time on the basis of experimental research adapted to assess fire danger of local suction of explosive facilities, the ventilation channels on which combustible grain dust is evacuated, in terms of the of wheat flour production on the flour-milling plant LLC MP «Voronezh».

Keywords: vapours of flammable liquids, combustible dust, sediment, fire safety, ducting systems, calculation.

В системах местных отсосов могут встречаться различные сочетания веществ. Для большого числа пар веществ (~100 пар) экспериментально установлены условия их взаимодействия. Возможность взаимодействия пары веществ (например, окислитель — горючее) или ее отсутствие можно определить расчетным путем по изменению стандартной энергии Гиббса [4].

Изменение стандартной энергии Гиббса при взаимодействии двух веществ равно разности между суммой стандартных энергий Гиббса образования продуктов реакции и суммой стандартных энергий Гиббса образования исходных веществ:

$$\Delta\tau^o = \sum_i^n v_i (\Delta\tau_{f,i}^o)_{\text{ПРОД}} - \sum_j^m v_j (\Delta\tau_{f,j}^o)_{\text{ИСХ}},$$

где $(\Delta\tau_{f,i}^o)_{\text{ПРОД}}$, $(\Delta\tau_{f,j}^o)_{\text{ИСХ}}$ — энергия Гиббса образования конечных продуктов и исходных веществ соответственно;
 v_i , v_j — стехиометрические коэффициенты для i -го конечного продукта и j -го исходного вещества соответственно;
 m , n — число исходных веществ и продуктов реакции.

Критерием самопроизвольного протекания процесса в нестандартных условиях может быть принято $\Delta\tau^0 \ll 0$, тогда при расчетах можно использовать величины стандартной энергии Гиббса. Критерием невозможности реализации процесса (т.е. совместимости веществ) принимается неравенство $\Delta\tau^0 \gg 0$. В результате экспериментов установлено, что граничной величиной, разделяющей совместимые и несовместимые вещества, является $\Delta\tau^0 = -41,8$ кДж/моль.

Если удаляемые горючие вещества способны конденсироваться или накапливаться в воздуховодах или вентиляционном оборудовании, то системы местных отсосов должны быть изолированными для каждого помещения или каждой единицы оборудования. Образующиеся отложения в оборудовании и воздуховодах необходимо проверять на склонность к самовозгоранию и установить периодичность очистки технологического оборудования от отложений.

Возможность конденсации при удалении паровоздушной смеси легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), горючих жидкостей и окислителей системами местных отсосов зависит от температуры точки росы t_p , которую следует сопоставить с минимальной температурой перемещаемой паровоздушной смеси t_{min} [5] (принимается равной температуре наружного воздуха для холодного периода года t_n).

t_{min} в системе местных отсосов с резервным вентилятором определяют по формуле:

$$t_{min} = t_n + (t_s - t_n) \cdot \exp\left(-0,09 \frac{l}{u \cdot d}\right), \quad (1)$$

где t_s — начальная температура паровоздушной смеси в системе местных отсосов, °С, (принимается по технологическим данным или по [5] для рабочей зоны помещения и для холодного периода года);

l — длина воздуховода за пределами отапливаемой зоны здания, м;

d — диаметр воздуховода за пределами отапливаемой зоны здания, м;

u — скорость паровоздушной смеси в воздуховоде за пределами отапливаемой зоны здания, м · с⁻¹.

t_{min} в системе местных отсосов без резервного вентилятора принимается равной температуре наружного воздуха для холодного периода года. Температуру точки росы t_p (кПа) для паров ЛВЖ и окислителей в удаляемой паровоздушной смеси следует принимать по [6–8] в зависимости от парциального давления паров ЛВЖ, ГЖ и окислителей.

t_p в зависимости от парциального давления допускается определять по преобразованному уравнению Антуана:

$$t_p = \frac{B}{A - \lg P} - C, \quad (2)$$

где A, B, C — константы уравнения Антуана, соответствующие размерности P (кПа), принимаются по справочным данным [8] или по таблице приложения [9].

Парциальное давление ЛВЖ, ГЖ и окислителей (кПа) определяют по формуле:

$$P = 1,013 \cdot 0,5 \cdot \varphi_0, \quad (3)$$

где φ_0 — нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), % об., определяется экспериментально по ГОСТ 12.1.044-91 [10], рассчитывается по [11] или принимается по справочным данным [8, 12–14].

Если t_{min} перемещаемой паровоздушной смеси ниже t_p паров ЛВЖ, ГЖ и окислителей, то конденсация их возможна и их удаление следует осуществлять отдельно системой местных отсосов от других систем. Если t_{min} перемещаемой паровоздушной смеси выше t_p , то конденсация паров не происходит и их эвакуацию можно осуществлять по одному каналу местных отсосов, если при этом выполняются требования совместимости СП. 7. 13130.2013 [1].

Минимальный расход воздуха в местных отсосах, обеспечивающий удаление горючих газов, паров, аэрозолей и пыли с концентрацией, не превышающей 50% НКПР при температуре удаляемой смеси, определяют по формуле:

$$q = \frac{2m}{k}, \quad (4)$$

где k — НКПР вещества при температуре удаляемой смеси, кг/м³;

m — скорость поступления взрывоопасного вещества в местный отсос, кг/с.

Количество пожаровзрывоопасных веществ (m), поступающих в местный отсос в единицу времени, определяют по результатам испытаний или рассчитывают по приведенным ниже соотношениям в зависимости от агрегатного состояния и физико-химических свойств веществ.

Общий расход воздуха в воздуховодах, к которым присоединяются местные отсосы, определяют исходя из выделения

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (5)$$

где n — количество местных отсосов, присоединяемых к воздуховоду;

q_i — расход воздуха по каждому отсосу.

Для герметично закрытых аппаратов с неразъемными и разъемными соединениями, работающими под давлением, утечку паров и газов через неплотности аппаратов и соединений (кг/с), рассчитывают по формуле:

$$m_y = K \cdot C \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M}{T_{Расч}}}, \quad (6)$$

Таблица 1. Значение коэффициента С

Рабочее давление, кПа (атм.)	Менее 101 (1)	101 (1)	606 (6)	1616 (16)	4040 (40)	16 160 (160)	40 400 (400)	101 000 (1000)
Значение С	$3,36 \times 10^{-5}$	$4,61 \times 10^{-5}$	$5,06 \times 10^{-5}$	$5,25 \times 10^{-5}$	$7,00 \times 10^{-5}$	$8,28 \times 10^{-5}$	$8,78 \times 10^{-5}$	$1,03 \times 10^{-4}$

где K — коэффициент, учитывающий степень износа производственного оборудования, принимается в пределах от 1 до 2;

C — коэффициент, зависящий от давления паров и газов в аппарате, принимается по данным таблицы 1;

V — внутренний (свободный) объем аппаратов и коммуникаций, находящихся под давлением, м^3 ;

M — молярная масса газов или паров, находящихся под давлением в аппаратах, кг/кмоль ;

$T_{\text{расч}}$ — температура паров или газов, находящихся в аппаратах, К .

Количество паров и газов, выделяющихся через сальниковые уплотнения одного насоса (кг/с), принимают в соответствии с таблицей 2 или рассчитывают по формулам:

для поршневых насосов, перекачивающих легкие, холодные нефтепродукты:

$$m_n = 2,78 \cdot 10^{-5} \cdot p \cdot A \cdot \sqrt{P}, \quad (7)$$

где p — периметр штока насоса, м ;

P — рабочее давление, создаваемое насосом, кПа ;

A — коэффициент, принимаемый равным 5 для высоколетучих жидкостей и 2,5 для обычных бензинов и керосинов;

для центробежных насосов, перекачивающих легкие жидкости:

$$m_{\text{ц}} = 1,57 \cdot 10^{-7} \cdot d \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \sqrt{P}, \quad (8)$$

где d — диаметр вала насоса, м ;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, кг/м^3 .

Массу водорода, образующегося в единицу времени при зарядке нескольких батарей, определяют по формуле:

$$m_n = 1,04 \cdot 10^{-8} \cdot \left(1 + \frac{T_{\text{расч}}}{273}\right) \cdot \sum_{i=1}^k I_i \cdot N, \quad (9)$$

где $T_{\text{расч}}$ — расчетная температура, К ;

I_i — максимальный зарядный ток i -й батареи, А ;

N_i — количество аккумуляторных элементов в i -й батарее;

k — число аккумуляторов.

Выражение (9) применяется для аккумуляторов, не снабженных системой рекомбинации водорода. Если аккумуляторы снабжены указанной системой, то скорость по-

ступления водорода принимается по данным предприятия-изготовителя.

Скорость поступления паров при испарении с поверхности разлитой жидкости, не нагретой выше температуры окружающей среды, или из открытых емкостей находят, применяя формулу:

$$m_{\text{ис}} = 10^{-6} \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \cdot F_{\text{ис}}, \quad (10)$$

где η — коэффициент, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения, принимается по данным таблицы 3;

M — молярная масса, кг/кмоль ;

P_n — давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа ;

$F_{\text{ис}}$ — площадь испарения, м^2 .

Площадь испарения с поверхности разлившейся жидкости принимают исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70% и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м^2 , а для остальных жидкостей и сжиженных углеводородных газов (СУГ) — на площади 1 м^2 .

Площадь испарения при наличии преград, препятствующих растеканию жидкостей, принимают равной площади, ограниченной бортиками или другими ограждениями, если будет обосновано, что указанные преграды выполняют свои функции при возникновении аварии.

Давление насыщенных паров легко воспламеняющихся и горючих жидкостей при расчетной температуре воздушного потока определяют по уравнению:

$$P_n = (10^{\frac{A-B}{C+T_{\text{расч}}}}) \cdot \chi, \quad (11)$$

где A, B, C — константы уравнения Антуана, принимаются по справочным данным [9, 12–14];

$T_{\text{расч}}$ — расчетная температура воздушного потока, $^{\circ}\text{C}$;

χ — объемная доля горючей жидкости в смеси (для чистых горючих жидкостей $\chi=1$).

Интенсивность испарения при проливе СУГ ($\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$) при температуре подстилающей поверхности от -15 до 40°C допускается рассчитывать по формуле:

$$m_{\text{СУГ}} = \frac{10^{-3} M}{L_{\text{исп}}} (T_o - T_{\text{ж}}) \left(\frac{0,2 \cdot \lambda_{\text{мв}}}{\sqrt{\pi \cdot \alpha}} + \frac{5,1 \cdot \lambda_{\text{в}} \cdot \sqrt{\text{Re}}}{d} \right), \quad (12)$$

Таблица 2. Количество паров и газов, выделяющихся через сальниковые уплотнения (на один насос)

Перекачиваемые продукты	Вещества, характеризующие утечку	Количество, 10^{-4} кг/с
Темные нефтепродукты при температуре 100–350 °С	Тяжелые углеводороды	1,39
Светлые нефтепродукты при температуре до 60 °С	Легкие углеводороды	2,78
Сжиженные газы	Бутан-бутилен	9,94
Раствор масла в толуоле	Пары толуола	0,403
Бензол	Пары бензола	1,25

где M — молярная масса СУГ, кг/кмоль;

$L_{исп}$ — молярная теплота испарения СУГ при начальной температуре, Дж/моль;

T_0 — начальная температура материала, на поверхность которого разливается СУГ, соответствующая расчетной температуре t_p , К;

$T_{жс}$ — начальная температура СУГ, К;

$\lambda_{мс}$ — коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого разливается СУГ, Вт/(м·К);

α — эффективный коэффициент теплопроводности материала, на который разливается СУГ, $м^2/с$;

$Re = \frac{u \cdot d}{\nu}$ — число Рейнольдса (u — скорость воздушного потока, м/с; d — характерный размер (наибольшая длина поверхности испарения), м; ν — кинематическая вязкость воздуха при расчетной температуре t_p , $м^2/с$);

$\lambda_{в}$ — коэффициент теплопроводности воздуха при расчетной температуре, Вт/(м·К).

Значение НКПР (кг/м³) для заданных веществ и материалов определяют по справочным данным [8, 12–14] или по формуле:

$$k = \frac{\varphi \cdot M}{100 \cdot V_o \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_{расч})}, \quad (13)$$

где φ — НКПР при расчетной температуре t_p , % об.;

V_o — молярный объем, равный 22,413 м³/кмоль;

$$\varphi = \varphi_o \left(1 - \frac{T_p - T_o}{1550 - T_o} \right), \quad (14)$$

где T_p — расчетная температура, К;

T_o — температура, при которой определен НКПР φ_o , % об., К.

Давление взрыва (кПа), создаваемое при сгорании горючих веществ в помещении, рассчитывают по формуле [14]:

$$\Delta P = \frac{1,19 \cdot 10^{-4} \cdot M_i \cdot H_i \cdot Z_i}{V_n}, \quad (15)$$

Таблица 3. Зависимость коэффициента η от температуры и скорости воздушного потока

Скорость воздушного потока, м/с при температуре (°С) воздуха в помещении	Значение коэффициента η				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

где M_i — масса i -го вещества, поступающего в помещение в течение 1 ч, кг;

$$M_i = 3600 \cdot m_i; \quad (16)$$

m_i — масса i -го вещества, поступающего в помещение в единицу времени, кг/с;

H_i — теплота сгорания i -го вещества, Дж/кг;

Z_i — коэффициент участия i -го вещества во взрыве, определяется по таблице А.1 СП 12.13130.2009 [15];

V_n — объем помещения, м³.

Если время поступления вещества меньше 1 ч, то в формулу (15) вместо M_i следует подставить массу этого вещества. При ΔP больше ($>$) 5 кПа помещение является взрывопожароопасным и относится к категории А или Б [15] в зависимости от вида обращающихся в нем веществ и материалов. При ΔP не больше (\leq) 5 кПа помещение не является взрывопожароопасным и относится к категории пожароопасных В1 – В4 (рассчитывается согласно [15] или определяется как Г, Д).

Далее находят концентрацию горючих веществ k_n (кг/м³), образующихся в помещении при остановке вентилятора местных отсосов и при продолжающейся работе технологического оборудования:

$$k_n = \frac{M_i}{V_n}. \quad (17)$$

Вычисляют отношение

$$\psi = \frac{k_n}{k} \quad (18)$$

и определяют необходимость оборудования систем местных отсосов резервным вентилятором.

Плотность горючих веществ по отношению к воздуху составит:

$$\nu = \frac{\rho}{\rho_v}, \quad (19)$$

где ρ — плотность горючего вещества при расчетной температуре $t_{расч}$, кг/м³;

ρ_v — плотность воздуха при расчетной температуре, принимаемая равной 1,2 кг/м³.

Плотность горючих веществ находят по справочной литературе [8, 11–13] или рассчитывают по формуле (для газов и паров):

$$\rho = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_{расч})}. \quad (20)$$

Тогда формула (19) примет вид:

$$\nu = \frac{M}{1,2 \cdot V_o (1 + 0,00367 \cdot t_{расч})}. \quad (21)$$

По величине ν определяют необходимость устройства подъема воздуховода с учетом возможности конденсации горючих жидкостей.

Литература

- СП. 7.13130.2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования. — М.: ВНИИПО, 2009. — 29 с.
- СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
- РД 1.2-138-2005 (СТО Газпром) Методика оценки пожаро-взрывоопасности местных отсосов.
- Вогман, Л.П. Обеспечение пожарной безопасности систем местных отсосов. Расчет химической совместимости веществ / Л.П. Вогман, А.В. Хрюкин // Материалы XXIV Междунар. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы пожарной безопасности». — М.: ВНИИПО, 2014. — С. 354–358.
- СП 131.13330.2012 Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. — Введ. 01.01.2013. — М.: Минрегион России, 2012.
- Стэл, Д.Р. Таблицы давления паров индивидуальных веществ // Д.Р. Стэл. — М.: Иностранная литература, 1949. — 72 с.
- Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей // Н.Б. Варгафтик. — М.: Наука, 1972.
- Справочник химика. Т.1. — М.: Химия, 1966.
- Смолин, И.М. Пособие по применению СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности / И.М. Смолин [и др.]. — М.: ВНИИПО, 2014. — 147 с.
- ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
- Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов. Руководство. — М.: ВНИИПО, 2002. — С. 77.
- Пожарная опасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник / под ред. А.Н. Баратова, А.Я. Корольченко. Т. 1, 2. — М.: Химия, 1990.
- Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник. — М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000.
- Литвинова, Г.Ж. Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник / Г.Ж. Литвинова. — М.: ВНИИПО, 2005. — С. 368.
- СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. ■

Продолжение в следующем номере



КНИЖНАЯ ПОЛКА

Вышло в свет учебное пособие «**Энерго- и ресурсосберегающие технологии комбикормов**» Афанасьева В.А., которое разработано в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) подготовки по направлению 19.04.02 — Продукты питания из растительного сырья по магистерской программе «Энерго- и ресурсосберегающие технологии при переработке зерна в муку, крупу, комбикорма».

Содержание учебного пособия посвящено описанию основных положений по кормлению животных, характеристик сырья для комбикормовой продукции, организации технологических процессов производства комбикормов, белково-витаминно-минеральных концентратов и премиксов. Приведены технологические схемы производ-

ства комбикормовой продукции на ранее построенных заводах и вновь созданных предприятиях.

Пособие предназначено для преподавателей учебных заведений, в программы обучения которых включены

технологии комбикормового производства, магистров, инженерно-технического персонала комбикормовых предприятий, других специалистов в области производства комбикормовой продукции. *Объем книги — 473 с.*

По вопросам приобретения книги следует обращаться в ОАО «ВНИИКП»: телефоны (473) 246-46-49, 221-02-73, 246-34-81; e-mail: vnii_kp@vmail.ru