

**TRAFFIC ACCIDENT AS A RESULT OF A FUNCTIONAL FAILURE IN THE  
«MAN-VEHICLE-ENVIRONMENT» SYSTEM**

**V. V. Sabadash, D. I. Fokin**

*The article deals with the issue of a driver's functional state influence on the conditions of a traffic accident.*

УДК 614.841

**Е. В. Тарахно**, начальник кафедры специальной химии и химических технологий Национального университета гражданской защиты Украины, кандидат технических наук, доцент,

**В. Н. Сырых**, доцент кафедры надзорно-профилактической деятельности Национального университета гражданской защиты Украины, кандидат технических наук, доцент,

**Р. В. Тарахно**, старший эксперт НИЕКЦ ЛУ УМВД Украины на железнодорожном транспорте

**ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ  
ВЗРЫВОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СУДЕБНОЙ  
ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

*Определены возможность образования взрывоопасных смесей и время достижения опасных концентраций как в объеме всего помещения, так и в локальных зонах загазованности с учетом влияния газообмена в помещении.*

Взрывы газопаровоздушных смесей в помещениях, как правило, приводят к катастрофическим последствиям, вызывая при этом значительные разрушения зданий и гибель людей. За последние годы на территории Украины произошла серия таких взрывов – в Днепропетровске, Луганске, Евпатории, Львове, Херсоне, Харькове и других населенных пунктах страны. Судебно-экспертное исследование причины возникновения таких взрывов имеет комплексный характер и обуславливается решением ряда специфических задач. При этом на исследование пожарно-технической экспертизы могут быть поставлены следующие вопросы: Какие обстоятельства вызвали возникновение взрывоопасной газо- или паровоздушной смеси? Достаточно ли вещества для образования в объеме помещения (или в локальной зоне) взрывоопасной смеси? В каком месте помещения (пространства) произошло воспламенение образовавшейся взрывоопасной смеси? Какой источник зажигания вызвал воспламенение взрывоопасной смеси? и др.

В процессе проведения пожарно-технической экспертизы, исследуя динамику возникновения взрывоопасной газопаровоздушной смеси (ГПВС)

в помещении, определяются масса вещества, необходимого для образования такой смеси, и время, через которое средняя концентрация горючего газа в свободном объеме помещения достигнет значения нижнего концентрационного предела распространения пламени. При этом необходимо учитывать условия газообмена помещения с окружающей средой, так как часть горючего газа через отверстия помещения вытекает наружу и не участвует в формировании взрывоопасной смеси.

В существующей методике<sup>1</sup>, для определения массы горючего вещества, принимающего участие во взрыве, используется детерминированный подход, предусматривающий введение коэффициента негерметичности помещения –  $K_n$ , который равняется 3. Выполняемые по данной методике расчеты имеют вероятностный характер в силу того, что масса горючего вещества, необходимого для образования взрывоопасных смесей в помещении, определяется без учета газообмена с окружающей средой. Приведенные в литературе<sup>2</sup> расчеты, учитывающие влияние вентиляции на формирование в помещениях взрывоопасного облака, не позволяют определить время, через которое средняя концентрация горючего газа в свободном объеме данного помещения достигнет предела взрывоопасности.

Возможность взрыва при выходе горючего газа создается при условии достижения в свободном объеме помещения концентрации не ниже нижнего концентрационного предела распространения пламени. Поэтому для определения возможности возникновения взрыва необходимо сравнить фактическую среднюю концентрацию горючего газа с его нижним концентрационным пределом.

Среднюю фактическую концентрацию газа, которая образовалась в помещении вследствие аварийного истечения, можно рассчитать по формуле

$$\varphi'_{cp} = \frac{m_r}{V_{пом}(1-\eta)} = \frac{m_r}{V_{св}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \text{ или } \varphi_{cp} = \frac{100m_r}{\rho_r V_{св}}, \%, \quad (1)$$

где  $\varphi'_{cp}$ ,  $\varphi_{cp}$  – соответственно массовая и объемная средняя фактическая концентрация газа в свободном объеме помещения;  $m_r$  – масса газа, которая поступила в помещение за время аварийной ситуации, кг;  $V_{пом}$  – общий объем помещения, м<sup>3</sup>;  $\eta$  – доля объема помещения, которая занята оборудованием или мебелью;  $V_{св}$  – свободный объем помещения, м<sup>3</sup>;  $\rho_r$  – плотность газа в помещении, кг/м<sup>3</sup>.

Для определения средней концентрации горючего газа необходимо знать его массу, которая поступила во время аварийного истечения в помещение с определенным массовым расходом  $g_r^{ист}$  за определенное время развития

<sup>1</sup> См.: Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпечною : НАПБ Б.03.002-2007. — К. : Держспоживстандарт України.

<sup>2</sup> См.: Комаров А. А. Условия формирования взрывоопасных облаков в газифицированных жилых помещениях / А. А. Комаров, Г. В. Чиликина // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — № 4. — С. 24–28; Мишуев А. В. Общие закономерности развития аварийных взрывов и методы снижения взрывных нагрузок до безопасного уровня / А. В. Мишуев, А. А. Комаров, Д. З. Хуснутдинов // Там же. — 2001. — № 6. — С. 8–19.

аварийной ситуации. Массовый расход газа при его истечении через отверстие и поступлении в помещение, можно рассчитать по формулам<sup>1</sup>:

— если режим истечения докритический ( $\frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} < 2$ )

$$g_{\text{г}}^{\text{ист}} = K_{\text{отв}} S_{\text{отв}} P_{\text{сис}} \sqrt{\frac{1}{R_{\text{г}} T} \cdot \frac{2k}{k-1} \left[ \left( \frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{сис}}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{сис}}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}; \quad (2a)$$

— если режим истечения критический ( $\frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} > 2$ )

$$g_{\text{г}}^{\text{ист}} = K_{\text{отв}} S_{\text{отв}} P_{\text{сис}} \sqrt{\frac{1}{R_{\text{г}} T} \cdot \frac{2k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}, \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}, \quad (2б)$$

где  $K_{\text{отв}}$  – коэффициент сопротивления отверстия, через которое поступает газ (обычно  $K_{\text{отв}} = 0,64$ );  $k$  – коэффициент адиабаты горячего газа;  $P_{\text{сис}}$  – давление в системе подачи газа, большее чем давление среды, в которую происходит истечение, Па;  $P_{\text{атм}}$  – давление среды, в которую происходит истечение газа, Па;  $S_{\text{отв}}$  – площадь отверстия, через которое вытекает газ, м<sup>2</sup>;  $T$  – температура газа, К;  $R_{\text{г}}$  – удельная газовая постоянная, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>.

Следовательно, время, за которое средняя фактическая концентрация газа, образовавшаяся в помещении вследствие аварийного истечения и отсутствия газообмена с окружающей средой, достигнет значения нижнего концентрационного предела распространения пламени, можно определить по формуле

$$\tau_{\text{нкрп}} = \frac{m_{\text{г}}}{g_{\text{г}}^{\text{ист}}} = \frac{V_{\text{св}} \varphi'_{\text{н}}}{g_{\text{г}}^{\text{ист}}}, \text{ с}, \quad (3)$$

где  $\varphi'_{\text{н}}$  – массовый нижний концентрационный предел распространения пламени горячего газа, кг·м<sup>-3</sup>.

При наличии проемов в помещении возникает газообмен вследствие различия температур газовой среды в помещении и снаружи, из-за чего часть горячего газа будет удаляться вместе с потоком воздуха. Расход горячего газа, который удаляется из помещения вместе с воздухом, пропорциональный текущему значению массовой доли горячего газа в смеси на данный момент времени.

Уравнение материального баланса горячего газа, который поступает в помещение, с учетом его вытекания через проемы с потоком воздуха можно выразить дифференциальным уравнение

$$\frac{dm_{\text{г}}}{d\tau} = V_{\text{св}} \frac{d\varphi'_{\text{г}}}{d\tau} = g_{\text{г}}^{\text{ист}} - g_{\text{гс}}^{\text{выт}} \frac{\varphi'_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}}, \quad (4)$$

где  $\varphi'_{\text{г}}$  – средняя массовая концентрация газа в помещении на момент времени  $\tau$ , кг·м<sup>-3</sup>;  $g_{\text{гс}}^{\text{выт}}$  – массовый расход, с которой смесь воздуха и горя-

<sup>1</sup> См.: Рябова І. Б. Термодинаміка і теплопередача у пожежній справі / І. Б. Рябова, І. В. Сайчук, А. Я. Шаршанов. — Х. : АПБУ, 2002. — 352 с.

чего газа вытекает из помещения через проемы (рассчитывают в зависимости от схемы газообмена),  $\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$ ;  $\rho_{\text{гс}}$  – плотность газозвдушной смеси при данных условиях,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ .

Массовый расход, с которым газовая смесь вытекает через проемы помещения, можно рассчитать по формулам:

— если проемы расположены на одном уровне

$$g_{\text{гс}}^{\text{выт}} = \frac{2}{3} K_{\text{отв}} S_{\text{отв}} \sqrt{\frac{2gh_{\text{отв}} \rho_{\text{воз}} \rho_{\text{гс}} (\rho_{\text{воз}} - \rho_{\text{гс}})}{(\rho_{\text{воз}}^{0,33} + \rho_{\text{гс}}^{0,33})^3}}, \text{кг}\cdot\text{с}^{-1}, \quad (5a)$$

— если проемы расположены на разных уровнях

$$g_{\text{гс}}^{\text{выт}} = K_{\text{отв}} S_{\text{прит}} S_{\text{выт}} \sqrt{\frac{2gH \rho_{\text{воз}} \rho_{\text{гс}} (\rho_{\text{воз}} - \rho_{\text{гс}})}{\rho_{\text{воз}} S_{\text{прит}}^2 + \rho_{\text{гс}} S_{\text{выт}}^2}}, \text{кг} \quad (5б)$$

где  $K_{\text{отв}}$  – коэффициент расхода отверстия, который учитывает потери кинетической энергии газового потока при проходе его через отверстия за счет трения, завихрения и т. п. и зависит от формы отверстия и толщины стенок (для оконных и дверных проемов принимается равным 0,6–0,65);  $S_{\text{прит}}$  – площадь отверстия, которое работает на приток воздуха,  $\text{м}^2$ ;  $S_{\text{выт}}$  – площадь вытяжного отверстия,  $\text{м}^2$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $H$  – расстояние между центрами приточного и вытяжного отверстий,  $\text{м}$ ;  $\rho_{\text{воз}}$  – плотность воздуха снаружи помещения,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $h_{\text{отв}}$  – высота проема, через который осуществляется газообмен в помещении,  $\text{м}$ .

Решение уравнения материального баланса (4) дает возможность определить массу газа, который скапливается в помещении за определенное время развития аварийной ситуации с учетом газообмена с окружающей средой:

$$m_{\text{г}} = \frac{g_{\text{г}}^{\text{ист}} \rho_{\text{гс}} V_{\text{св}}}{g_{\text{гс}}^{\text{выт}}} \left( 1 - e^{-\frac{g_{\text{гс}}^{\text{выт}} \tau}{\rho_{\text{гс}} V_{\text{св}}}} \right), \text{кг}. \quad (6)$$

Решение уравнения (4) в пределах  $\tau = 0$ ,  $\varphi_{\text{г}} = 0$  и  $\tau = \tau_{\text{нкпрп}}$ ,  $\varphi_{\text{г}} = \varphi_{\text{н}}$  позволяет рассчитать время, через которое средняя концентрация горючего газа в свободном объеме помещения достигнет значения нижнего концентрационного предела распространения пламени, с учетом частичного истечения горючего газа через проемы помещения в процессе его аварийного поступления:

$$\tau_{\text{нкпрп}} = \frac{V_{\text{св}} \rho_{\text{гс}}}{g_{\text{гс}}^{\text{выт}}} \ln \frac{g_{\text{г}}^{\text{ист}}}{g_{\text{г}}^{\text{ист}} - \frac{g_{\text{гс}}^{\text{выт}} \varphi'_{\text{н}}}{\rho_{\text{гс}}}}, \text{с}. \quad (7)$$

Из формулы (7) вытекает, что при определенных условиях газообмена время достижения взрывоопасной концентрации горючего вещества во всем

об'єму помещення буде стремиться к бесконечности, т. е. взрывоопасная загазованность в помещеннии не будет создаваться. Такая ситуация возникнет, если

$$g_{\Gamma}^{\text{ист}} \leq \frac{g_{\Gamma\text{с}}^{\text{выт}} \varphi_{\text{н}}'}{\rho_{\Gamma\text{с}}}. \quad (8)$$

За определенное время истечения горячего газа нижний концентрационный предел распространения пламени может быть достигнут не во всем помещеннии, а только в его определенной части. Создается так называемая зона взрывоопасной загазованности. Радиус зоны взрывоопасной загазованности определяют по формуле

$$R_{\text{заг}} = 1,1314 \cdot L \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{1,38\varphi_0}{\varphi_{\text{н}}}\right)}, \text{ м}, \quad (9)$$

где  $L$  – длина помещення, м;  $\varphi_{\text{н}}$  – объемный нижний концентрационный предел распространения пламени горячего газа, %;  $\varphi_0$  – предэкспоненциальный множитель, который определяют по эмпирическим формулам:

— в неподвижной среде

$$\varphi_0 = 3,77 \cdot 10^3 \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} V_{\text{св}}}, \%, \quad (10a)$$

— в подвижной среде ( $v_{\text{воз}} > 0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ )

$$\varphi_0 = 300 \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} V_{\text{св}} v_{\text{воз}}}, \%, \quad (10б)$$

где  $v_{\text{воз}}$  – скорость движения воздуха в помещеннии,  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

Время, в течение которого при данных условиях аварийного поступления горячего газа в помещенние зона взрывоопасных концентраций распространится к вероятному источнику зажигания (например, электрическому выключателю, установки с наличием открытого пламени и т. п.), можно рассчитать, решая систему уравнений (3), (9), (10) по формулам:

— при условии отсутствия движения воздушных потоков

$$\tau = 1,92 \cdot 10^{-4} \frac{\rho_{\Gamma} V_{\text{св}} \varphi_{\text{н}}}{g_{\Gamma}^{\text{ист}}} e^{\left(\frac{R}{1,1314L}\right)^2}, \text{ с}, \quad (11)$$

— в подвижной среде

$$\tau = 2,4 \cdot 10^{-3} \frac{\rho_{\Gamma} V_{\text{св}} v_{\text{воз}} \varphi_{\text{н}}}{g_{\Gamma}^{\text{ист}}} e^{\left(\frac{R}{1,1314L}\right)^2}, \text{ с}, \quad (12)$$

где  $R$  – расстояние от источника истечения газа к вероятному источнику зажигания, м.

Применение при выполнении судебных пожарно-технических экспертиз приведенного расчетного метода исследования причины взрыва газопаровоздушной смеси позволяет учитывать влияние окружающей среды на воз-

возможность образования взрывоопасных смесей в помещении и определить время достижения опасных концентраций как в объеме всего помещения, так и в локальных зонах загазованности.

**ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОГО МЕТОДУ ДОСЛІДЖЕННЯ  
ВИБУХІВ У ПРИМІЩЕННЯХ ПРИ ПРОВЕДЕННІ СУДОВОЇ ПОЖЕЖНО-  
ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ**

**О. В. Тарахно, В. М. Сирих, Р. В. Тарахно**

*Визначено можливість утворення вибухонебезпечних сумішей і час досягнення небезпечних концентрацій як в об'ємі всього приміщення, так і в локальних зонах загазованості з урахуванням газообміну в приміщенні.*

**THE APPLICATION OF THE CALCULATION METHOD IN EXAMINING  
EXPLOSIONS WITHIN PREMISES WHILE CONDUCTING FORENSIC FIRE  
AND TECHNICAL EXAMINATION**

**Y. V. Tarakhno, V. N. Syrykh, R. V. Tarakhno**

*The article defines the possibility of forming explosive mixtures and the time of reaching the level of dangerous concentrations both in the premises on the whole and in local areas of high gas concentration taking into account the gas exchange effect in the premises.*

УДК 343.346.12:614.841

**Д. П. Сарюгло**, заведуючий сектором  
Київського НІИСЭ

**ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЗНОЙ  
СИСТЕМЫ И СЦЕПЛЕНИЯ КАК ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ  
ПОЖАРА НА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ**

*Рассмотрены методы установления причины возникновения пожара на движущемся автотранспортном средстве в связи с перегревом рабочих поверхностей их тормозных механизмов и сцепления. Даны рекомендации по исследованию тормозных механизмов и сцепления автотранспортных средств относительно их причастности к возникновению пожара.*

По месту возникновения пожаров незначительный процент занимает ходовая часть автотранспортных средств (АТС), куда входят тормозная система и сцепление. Для легковых автомобилей это составляет 3 %, а для грузовых – порядка 5 %<sup>1</sup>.

Практика показывает, что, несмотря на невысокий процент возникновения пожаров на АТС в связи с неисправностями в элементах трансмиссии

<sup>1</sup> См.: Исхаков Х. И. Пожарная безопасность автомобиля / Х. И. Исхаков, А. В. Пахомов, Я. Н. Каминский. — М. : Транспорт, 1987. — 86 с.