

Світлична С.Д.

**Моделювання надзвичайної ситуації, пов'язаної з розливом рідини, що швидко випаровується**

Запропоновано метод розрахунку концентрації в повітрі парів рідини, що випаровується з поверхні розливу. Цей метод базується на розв'язанні тривимірного рівняння дифузії. Модель призначена для розрахунку концентрації небезпечних речовин в повітрі після аварії.

**Ключові слова:** метод розрахунку, поверхня розливу, концентрація небезпечних речовин

Svetlichnaya S.D.

**The modeling of extraordinarily situation which is connected with the flood of liquid evaporating quickly**

The calculation method of concentration in air of liquid steams is proposed. Liquid evaporates from the flood surface. The method is based on the decision of the three-dimensional equation of diffusion. The model is intended for the concentration calculation of dangerous substances in air after the accident.

**Key words:** calculation method, flood surface, concentration of dangerous substances

**УДК 614. 84**

*Тарасенко А.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НУГЗУ*

**БЕЗОПАСНОСТЬ МАРШРУТА ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОТЕХНИКИ  
К ОЧАГУ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В УСЛОВИЯХ  
ГОРИСТОГО БЕЗДОРОЖЬЯ**

(представлено д-ром техн. наук Бодянским Э.В.)

Приведено решение задачи выбора безопасного направления движения автомобиля в условиях гористого бездорожья. Модель может быть использована в качестве ограничения при решении навигационной задачи нахождения оптимального наземного маршрута движения сил быстрого реагирования при ликвидации последствий природных и природно-техногенных ЧС

**Ключевые слова:** задача выбора, навигационная задача, оптимальный наземный маршрут

**Постановка проблемы.** Рост антропогенной нагрузки на природную среду приводит к увеличению числа техногенных ка-

тастроф (падению авиасредств, прорывам трубопроводов, обрывам линий электропередач и т.д.) в труднодоступной (горной, холмистой) местности. Минимизация последствий данных чрезвычайных событий, также как локализация или ликвидация последствий природных чрезвычайных ситуаций (ЧС) (ландшафтных пожаров, землетрясений, селей, лавин, оползней, наводнений и др.) требуют оперативного прибытия сил быстрого реагирования к эпицентру или границе области ЧС. Зачастую подразделения МЧС вынуждены при этом прокладывать наземные маршруты в условиях бездорожья.

Автомобильный транспорт при этом является наиболее распространенным наземным средством доставки сил МЧС, а боевая задача выполняется с помощью основных, специальных и вспомогательных автомобилей [1]. Поэтому возможность прокладки маршрута в условиях пересеченной местности определяется тактико-техническими характеристиками (ТТХ) используемых автомобильных средств (АС), а также характером рельефа и подстилающей поверхности в зоне ЧС.

Очевидно, что движение АС, с помощью которых силы МЧС осуществляют прибытие и/или выполнение боевой задачи, возможно лишь в случае их устойчивости на поверхности рельефа вдоль всего пути следования. Данный фактор можно рассматривать как одно из ограничений при решении навигационной задачи прокладки оптимального маршрута в условиях бездорожья.

Подобное ограничение возникает также при решении задачи маршрутизации сил пожаротушения при ликвидации природного пожара, характер борьбы с которым требует локализации и тушения очага по всему периметру [2]. Реализация данной установки особенно затруднена в условиях холмистой или горной местности в виду труднодоступности для наземных сил пожаротушения кромки пожара на крутых склонах.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах [3-4] рассмотрена в дискретной постановке (на сетке «Манхэттен») задача прокладки оптимального маршрута в условиях бездорожья и пересеченной местности. В континуальной постановке ограничения на безопасность движения автосредства ранее не рассматривались.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является нахождение пространственного поля дозволённых (по критерию

безопасности) направлений движения автосредства с заданными ТТХ по неоднородной поверхности рельефа  $Z(x; y)$ .

Безопасность движения АС определяется его устойчивостью на склоне (в силу невысокой скорости движения АС по пересеченной местности будем рассматривать статическую устойчивость [5]). Соответственно, возможность движения АС в азимутальном направлении  $\varphi$  зависит от тактико-технических характеристик и крутизны рельефа  $\alpha(\varphi)$  в данном направлении.

Формализуем данное ограничение, найдя допустимые направления движения автосредства по поверхности неоднородного рельефа.

Движение передним ходом АС в направлении  $\varphi$  эквивалентно его ориентации в данном направлении.

Аппроксимируем АС параллелепипедом, полагая, что четыре точки опоры АС образуют прямоугольник длиной  $a$  (колесная база) и шириной  $b$  (длина оси); высота АС равна  $c$  (высотный габарит). Пусть местоположение жестко закрепленного центра масс (ЦМ) задано относительно правой задней опоры координатами  $(c_a; c_b; c_c)$ , где  $0 \leq c_a \leq a$ ;  $0 \leq c_b \leq b$ ;  $0 \leq c_c \leq c$ , т.е. центр масс в общем случае располагается несимметрично.

Введем локальную декартову систему координат, связанную с геометрическим центром  $O'$  проекции АС на касательную плоскость и ориентированную осью абсцисс по направлению переднего хода АС. В этом случае опора будет определяться набором координат  $A_1(-a/2; -b/2)$ ,  $A_2(a/2; -b/2)$ ,  $A_3(a/2; b/2)$ ,  $A_4(-a/2; b/2)$ . Местоположение центра масс  $C$  в данной системе координат будет задаваться как  $C(c_a - a/2; c_b - b/2; c_c)$ . Орты локальной системы координат обозначим как  $(\vec{v}; \vec{t}; \vec{n})$ .

Пусть в глобальной системе координат  $OXYZ$  с ортами  $(\vec{i}; \vec{j}; \vec{k})$  задана поверхность рельефа  $Z(x; y)$  в виде [6]. В точке  $(x_0; y_0)$  построим касательную плоскость

$$\tilde{Z} = z_0 + Z_x(x - x_0) + Z_y(y - y_0), \quad (1)$$

введя обозначение  $z_0 = Z(x_0; y_0)$ ;  $Z_x = \left. \frac{\partial Z(x; y)}{\partial x} \right|_{x=x_0, y=y_0}$ ;  $Z_y = \left. \frac{\partial Z(x; y)}{\partial y} \right|_{x=x_0, y=y_0}$ .

В точке касания  $O'(x_0; y_0; z_0)$  поместим начало локальной системы координат, орты которой  $\vec{v}$  (связанный с направлением движения АС) и  $\vec{t}$  (перпендикулярный ему) расположим в касательной плоскости, орт  $\vec{n}$  - перпендикулярно ей. Данная система координат не связана жестко с касательной плоскостью, а вращается вокруг вектора  $\vec{n}$  (рис. 1) в зависимости от ориентации АС.

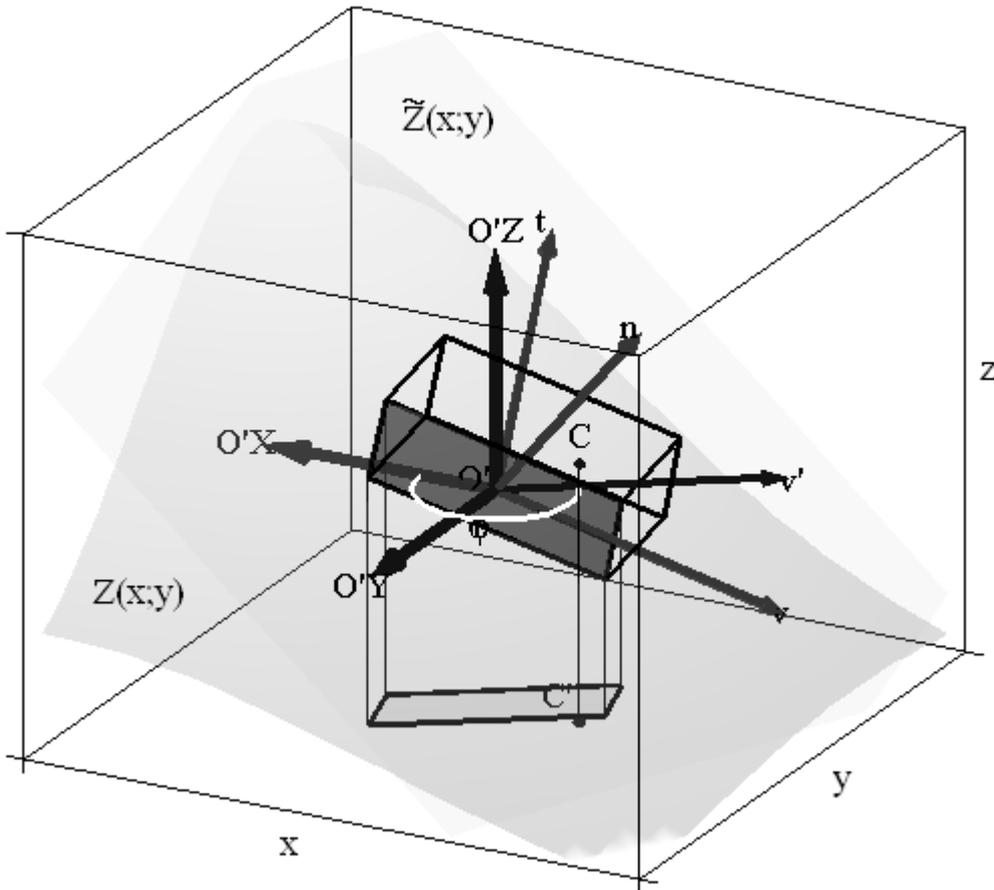


Рис. 1 – Нахождение разрешенных направлений движения АС

Проекцию вектора  $\vec{v}$  на плоскость  $XOY$  обозначим как  $\vec{v}'$ , а азимутальный угол, между  $\vec{v}'$  и  $\vec{i}$  обозначим  $\varphi$  ( $\varphi \in [0; 2\pi]$ ). Данный угол определяет ориентацию АС в глобальной системе координат. Угол склона  $\alpha(\varphi)$  ( $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ) в направлении  $\varphi$  равен

$$\alpha(x; y; \varphi) = \frac{180^\circ}{\pi} \arctg \left( \frac{\partial Z(x; y)}{\partial x} \cos \varphi + \frac{\partial Z(x; y)}{\partial y} \sin \varphi \right). \quad (2)$$

Орты локальной системы в системе  $XOYZ$  имеют координаты

$$\vec{v}(x; y; \varphi) = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi / |\vec{v}| \\ \sin \varphi / |\vec{v}| \\ (Z_x \cos \varphi + Z_y \sin \varphi) / |\vec{v}| \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $|\vec{v}| = \sqrt{1 + (Z_x \cos \varphi + Z_y \sin \varphi)^2}$ ;

$$\vec{n}(x; y) = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Z_x / |\vec{n}| \\ -Z_y / |\vec{n}| \\ 1 / |\vec{n}| \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $|\vec{n}| = \sqrt{1 + Z_x^2 + Z_y^2}$ ;

$$\vec{t}(x; y; \varphi) = \frac{\vec{n} \times \vec{v}}{|\vec{n} \times \vec{v}|} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} = \frac{1}{|\vec{n} \times \vec{v}|} \begin{bmatrix} n_y v_z - n_z v_y \\ n_z v_x - n_x v_z \\ n_x v_y - n_y v_x \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Направляющие косинусы между ортами глобальной и локальной систем координат, в виду их нормированности, равны соответствующим координатам ортов локальной системы в системе OXYZ

$$\begin{aligned} \cos \angle(\vec{i}, \vec{v}) &= v_x; & \cos \angle(\vec{i}, \vec{t}) &= t_x; & \cos \angle(\vec{i}, \vec{n}) &= n_x; \\ \cos \angle(\vec{j}, \vec{v}) &= v_y; & \cos \angle(\vec{j}, \vec{t}) &= t_y; & \cos \angle(\vec{j}, \vec{n}) &= n_y; \\ \cos \angle(\vec{k}, \vec{v}) &= v_z; & \cos \angle(\vec{k}, \vec{t}) &= t_z; & \cos \angle(\vec{k}, \vec{n}) &= n_z; \end{aligned} \quad (6)$$

Имея в распоряжении (6), можно определить координаты точек  $A_1, A_2, A_3, A_4$  и С в глобальной системе OXYZ на основании формул перехода [7]

$$\begin{aligned} x &= x_0 + x' \cos \angle(\vec{i}, \vec{v}) + y' \cos \angle(\vec{i}, \vec{t}) + z' \cos \angle(\vec{i}, \vec{n}); \\ y &= y_0 + x' \cos \angle(\vec{j}, \vec{v}) + y' \cos \angle(\vec{j}, \vec{t}) + z' \cos \angle(\vec{j}, \vec{n}); \\ z &= z_0 + x' \cos \angle(\vec{k}, \vec{v}) + y' \cos \angle(\vec{k}, \vec{t}) + z' \cos \angle(\vec{k}, \vec{n}), \end{aligned} \quad (7)$$

подставляя соответствующие координаты вместо  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ . Координаты  $(x_{A_i}; y_{A_i})$ , где  $i = \overline{1..4}$  и  $(x_c; y_c)$ , в системе координат  $OXYZ$ , в силу (1)-(7), будут зависеть от угла  $\varphi$  (в отличие от локальной системы координат).

Рассматривая проекцию основания средства и центра тяжести на плоскость  $XOY$  (рис. 2), можно видеть, что в зависимости от местоположения центра масс, ориентации  $AC$   $\varphi$  и координаты точки  $(x_0; y_0; z_0)$  на неоднородной поверхности рельефа  $Z(x; y)$ , проекция центра масс  $C'$  может лежать как вне проекции основания (рис. 2-а), что соответствует неустойчивому положению  $AC$ , так и внутри нее (рис. 2-б).

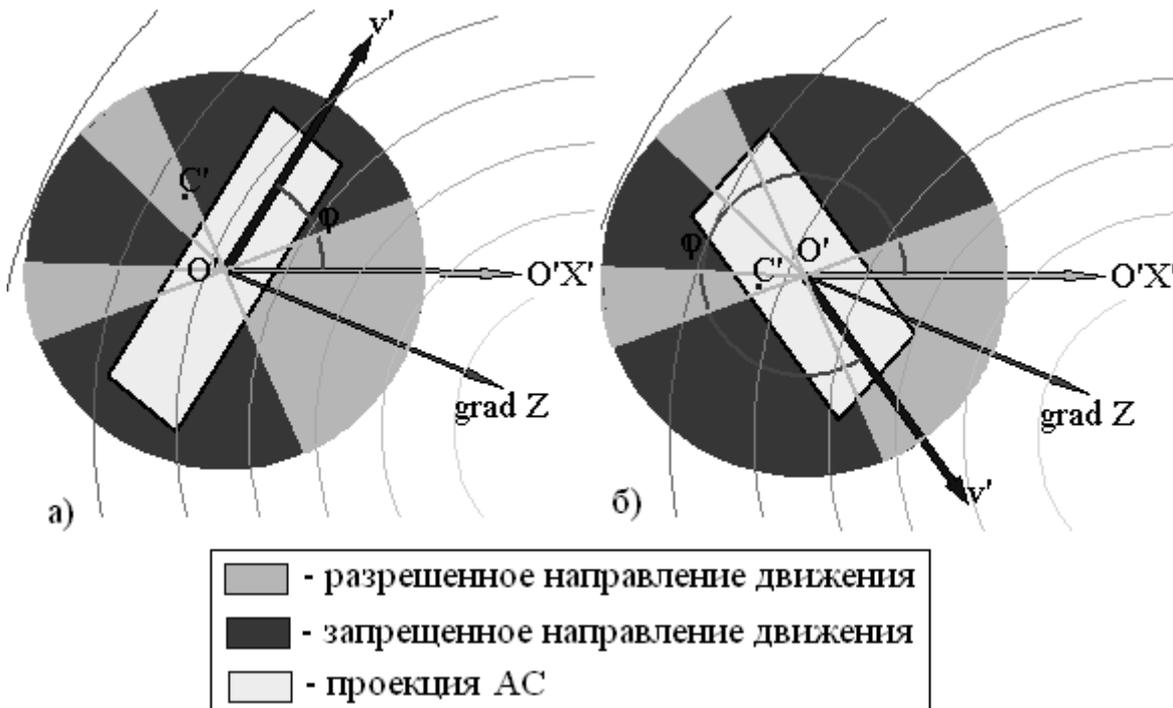


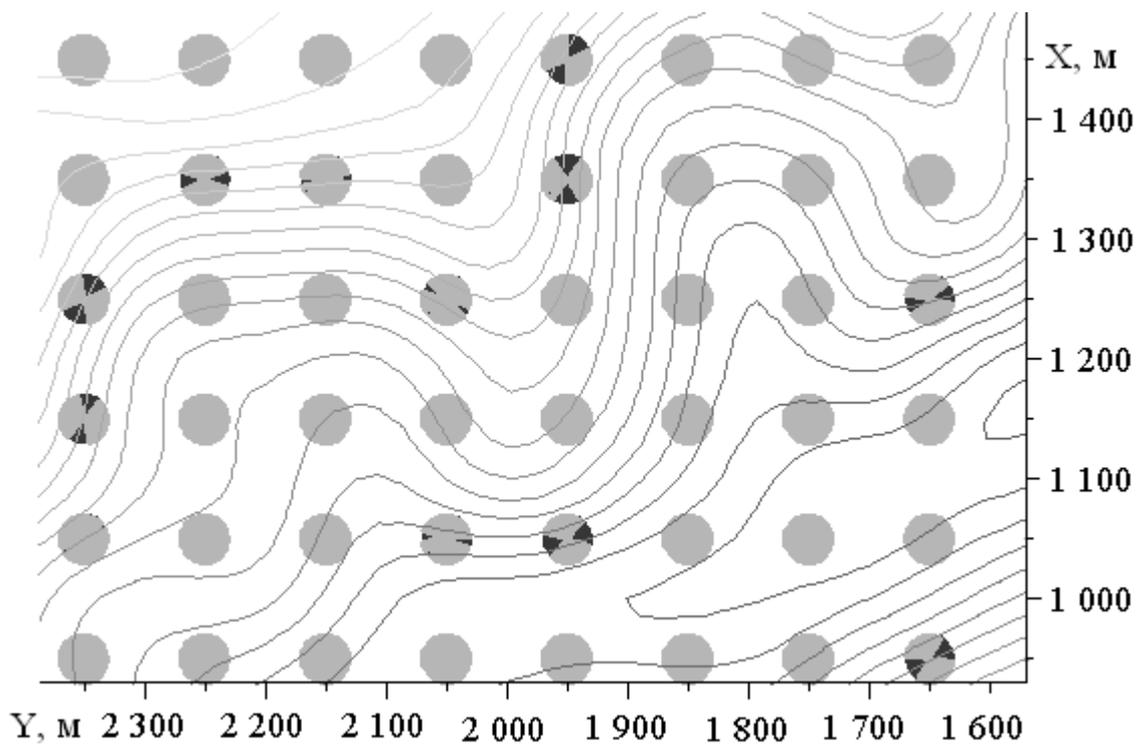
Рис. 2 – Найденные разрешенные и запрещенные направлений движения  $AC$

Нахождение области  $\Phi$  допустимых значений азимутального угла  $\varphi$  ориентации  $AC$ , при которых проекция центра масс оказывается внутри границы проекции основания, может быть осуществлено численным решением неравенства

$$R(x_c(\varphi), y_c(\varphi)) \leq 0, \quad (8)$$

получаемого подстановкой координаты проекции центра масс в  $R$ -уравнение [8] контура проекции основания. В общем случае такое решение представляет собой объединение от 0 до 4 (по количеству сторон основания АС) интервалов и зависит как от ТТХ данного АС, так и от крутизны склона  $\alpha$  в точке  $(x_0; y_0)$ .

Поскольку точка  $(x_0; y_0)$  может быть выбрана произвольно, то приведенная процедура позволяет получить пространственное поле разрешенных и запрещенных направлений движения АС по реальному [6] рельефу (рис. 3).



**Рис. 3 – Поле разрешенных и запрещенных направлений движения АС в дискретном множестве узлов реального рельефа**

Данное поле будет специфичным для каждого из видов используемых АС, поэтому входными параметрами модели оптимального маршрута или модели маршрута движения сил и средств пожаротушения при локализации или тушении ландшафтного пожара должны являться тактико-технические характеристики АС (конфигурация опоры, местоположение центра масс), которые должны храниться в виде элементов базы данных.

Как видно из рис. 3, устойчивость АС на склоне определяется боковым креном АС, т.е. опасность возникает при движении пер-

пендикулярно градиенту склона, а движение вверх и вниз по склону является безопасным.

**Выводы.** Получена модель безопасных направлений движения автосредства по пересеченной местности, которая может быть использована как ограничение при решении навигационной задачи – нахождении оптимального маршрута доставки сил МЧС к очагу природной и природно-техногенной ЧС в условиях бездорожья.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. - М.: Стройиздат, 1987. - 288
2. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. – М.: Госкомлес СССР, 1976. – 110 с.
3. Абрамов Ю.А. Оптимизация маршрута движения в условиях пересеченной местности / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Науковий вісник будівництва. Вип. 52.– Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – С. 401-407
4. Абрамов Ю.А. Поиск области запрета при моделировании маршрута в условиях гористого бездорожья / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Вестник ХНАДУ. Вып. 45.- Харьков: ХНАДУ, 2009. – С. 44-46
5. Аксенов П.В. Многоосные автомобили / П.В. Аксенов - М.: Машиностроение, 1989. – 140 с.
6. Абрамов Ю.А. Формирование априорной информации для системы ликвидации последствий чрезвычайной ситуации / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. АЦЗ України. Вип. 6.– Харків: УЦЗУ, 2007. – С. 11-22
7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев – М.: Наука, 1981. – 718 с.
8. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения / В.Л. Рвачев – Киев: Наукова думка, 1982. – 552 с.

Тарасенко О.А.

Безпека маршруту при русі автотехніки до осередку надзвичайної ситуації в умовах гористого бездоріжжя

Наведений розв'язок задачі вибору безпечного напрямку руху автомобіля в умовах гористого бездоріжжя. Модель може бути застосована в якості обмеження при розв'язанні навігаційної задачі знаходження оптимального наземного маршруту руху сил швидкого реагування при ліквідації наслідків природних та природно-техногенних НС

**Ключові слова:** задача вибору, навігаційна задача, оптимальний наземний маршрут

Tarasenko A.A.

**Safe route of the vehicle moving to the disaster source under the absence of roads**

The solution of the problem of choosing the safe direction of the car in a mountainous roads is present. The model can be used as a constraint in solving the navigation problem of finding the optimal ground route for quick reaction force in the elimination of consequences of natural and technical disasters.

**Key words:** problem of choosing, navigation problem, optimal ground route

**УДК 614.8**

*Тищенко Е.А., преп., ЧАПБ,  
Гвоздь В.М., канд. техн. наук, нач. ГУМЧСУ в Черк. обл.,  
Борисенко В.Г., канд. физ.-мат. наук, доц., НУГЗУ,  
Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ*

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ДАТЧИКА ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

С использованием экспериментальных данных получено решение задачи идентификации передаточной функции датчика первичной информации системы ослабления последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера

**Ключевые слова:** датчик первичной информации, идентификация, переходная функция, передаточная функция

**Постановка проблемы.** Чрезвычайные ситуации техногенного характера могут сопровождаться пожарами [1]. В этой связи можно выделить две проблемы: снижение риска возникновения