

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ПОЖАРНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПРИ ТУШЕНИИ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ

Предложена математическая модель организации тушения крупных пожаров на производственных объектах с применением робототехнических средств, основанная на комплексном использовании возможностей геоинформационных систем, технических средств контроля и измерения.

Ключевые слова: пожар, робототехническое средство.

K.S. Vlasov, S.G. Tsarichenko

MATHEMATICAL MODEL OF MANAGEMENT ROBOTIC FIRE DEPARTMENTS DURING EXTINGUISHING LARGE FIRES

A mathematical model for organizing extinguishing large fires of production facilities using robotic tools based on the integrated use capabilities of geographic information systems, engineering controls and measurements.

Key words: fire, robotics facility.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 18 марта 2015 г.

Общей целью действий пожарных подразделений при тушении пожаров является локализация и ликвидация горения. Для пожаров в **резервуарных парках (РП)** хранения нефти и нефтепродуктов успешным считается тушение пожара при достижении комплекса условий – **прямой ущерб** от пожара (Y_{np}) и **стоимость работ** (C_{pm}) меньше стоимости спасённого имущества, а время на проведение пенной атаки не превышает 1 часа [1]. Математически это выражается следующей формулой:

$$y_{y.t}(t) = \begin{cases} (C_{pt}(t) + Y_{np}(t)) < \sum C_i(t) \\ \text{при } \tau_T^{ПА} \leq 1 \text{ час} \end{cases}, \quad (1)$$

где $\sum C_i$ – общая стоимость имущества в зоне воздействия опасных факторов пожара;

$\tau_T^{ПА}$ – время проведения пенной атаки.

Для корректного построения математической модели применения **робототехнических средств (РТС)** на пожарах необходимо разделить функции оперативных подразделений пожарной охраны на достаточно единообразные периоды (рис. 1).



Рис. 1. Схема функционального разделения функций оперативных подразделений пожарной охраны

Основная функция – это тушение пожаров; вторая функция (подготовительная) – это поддержание состояния постоянной готовности личного состава и технических средств пожарных подразделений к тушению пожара; третья функция (логистическая) – это оперативная доставка личного состава пожарных подразделений, технических средств пожаротушения, пожарного оборудования и инструментов к месту пожара и после пожара обратно к месту постоянной дислокации.

Все составляющие имеют однозначно определяемые хронометрические границы, но при этом важным условием является, то, что для каждого подразделения эти границы определяются индивидуально. Наглядно это можно продемонстрировать на диаграмме Ганта (рис. 2), несмотря на то, что выезд на пожар *пожарных частей (ПЧ)* и завершение работы происходят одновременно, на диаграмме видно, что периоды следования и работы на пожаре отличаются. И поэтому невозможно установить единые временные границы в соответствии со схемой (рис. 2), применимые одновременно для всех подразделений.

№	Действие	Длительность	Время, (час : мин)				
			9:00	9:05	9:10	9:15	9:20
1	Следование на пожар ПЧ-1	5 мин	[Горизонтальная синяя полоса от 9:00 до 9:05]				
2	Работа на пожаре ПЧ-1	15 мин	[Горизонтальная синяя полоса от 9:05 до 9:20]				
3	Следование на пожар ПЧ-2	10 мин	[Горизонтальная синяя полоса от 9:00 до 9:10]				
4	Работа на пожаре ПЧ-2	10 мин	[Горизонтальная синяя полоса от 9:10 до 9:20]				

Рис. 2. Диаграмма Ганта для действий пожарных частей № 1 и № 2

Для определения $C_{рт}$ по формуле 2 необходимо провести структурную декомпозицию действий пожарных подразделений. Например, действие № 4 (рис. 2) включает в себя множество единичных задач (прокладка рукавных линий, установка автомобиля на водоисточник и т.д.). На диаграмме Ганта для каждого единичного действия выделяется отдельная строка, назначается

время выполнения, необходимые трудовые (люди) и материальные (техника) ресурсы. Для каждого ресурса назначается соответствующая оплата за использование (H):

$$C_{\text{рт}} = L \cdot \sum_{i=1}^n V_i H_i \quad (2)$$

где L – длительность тушения пожара;

V – объём назначений ресурса;

H – ставка за единицу рабочего времени;

n – количество используемых на пожаре трудовых и материальных ресурсов.

При вычислении $C_{\text{рт}}$ определяются трудозатраты (T , чел. \cdot ч $^{-1}$) на выполнение единичных задач. В данном случае T является важным расчётным показателем, позволяющим математически определить эффективность всех действий пожарных подразделений при тушении пожара. Поясним данный тезис на примере.

В настоящее время организация тушения пожаров строится на том, что планирование действий производится только на основании одной величины – *требуемого расхода огнетушащих веществ ($Q_{\text{тр}}$)*. Остальные параметры (количество ресурсов, направления и порядок введения сил) определяются в зависимости от $Q_{\text{тр}}$ и решений *руководителя тушения пожара (РТП)*. РТП, основываясь на своих знаниях и опыте, определяет направления прокладки рукавных линий, маршруты передвижения техники и т.д. Знание реальных *трудозатрат (T)*, необходимых для проведения действий, позволяет детально оценить и определить оптимальные пути и маршруты для действий пожарных подразделений. Например, можно сравнить альтернативные схемы боевого развертывания по трудозатратам и выбрать наименее трудоёмкую.

В общем виде блок-схема математической модели разработки тактической схемы тушения пожара с учётом $Q_{\text{тр}}$ и T , под рабочим названием "Р-Т" (сокращено от "расход – трудозатраты) представлена на схеме (рис. 3).

Практическое использование модели "Р-Т" на пожаре возможно только при комплексном использовании *геоинформационных систем (ГИС)*, например, ГЛОНАСС, GPS и др., и соответствующего технического обеспечения. Использование ГИС в деятельности МЧС России рассмотрено в докторской диссертации Терехина С.Н. [3].

Для определения трудозатрат (поз. 6 на рис. 3) используется разработанная во ВНИИПО МЧС России компьютерная программа "Оценка ОТД" [4]. Блок-схема программы, построенный с использованием визуального языка программирования ДРАКОН [5], представлен на рис. 4.

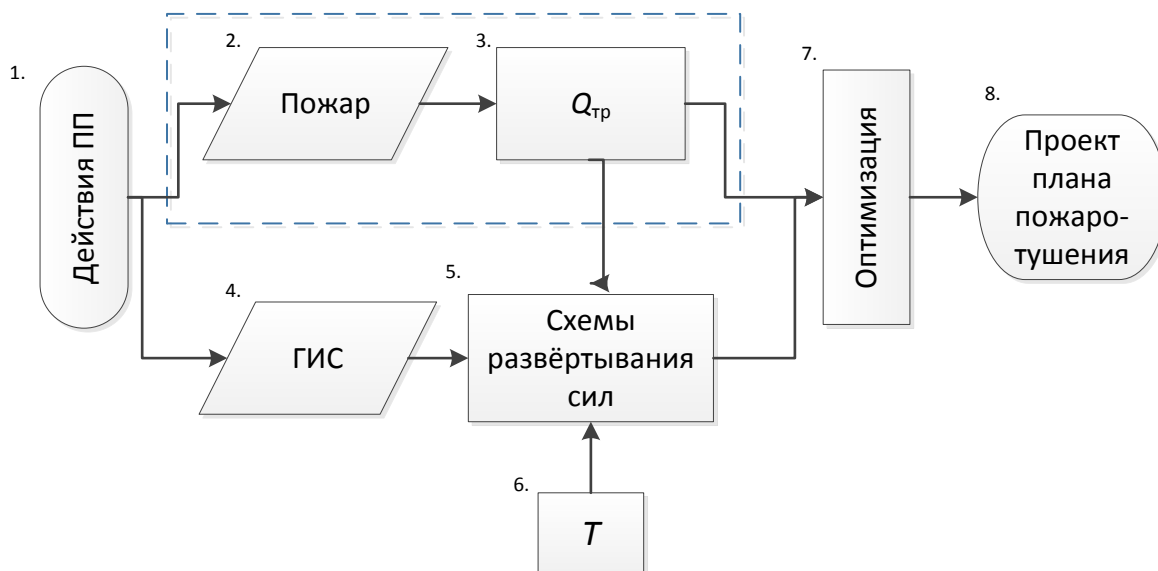


Рис. 3. Блок-схема модели "Расход-Трудозатраты" (P-T)

Пунктиром выделена существующая часть расчётной методики разработки тактики тушения пожара.
 $Q_{тр}$ – требуемый расход огнетушащих веществ; T – трудозатраты

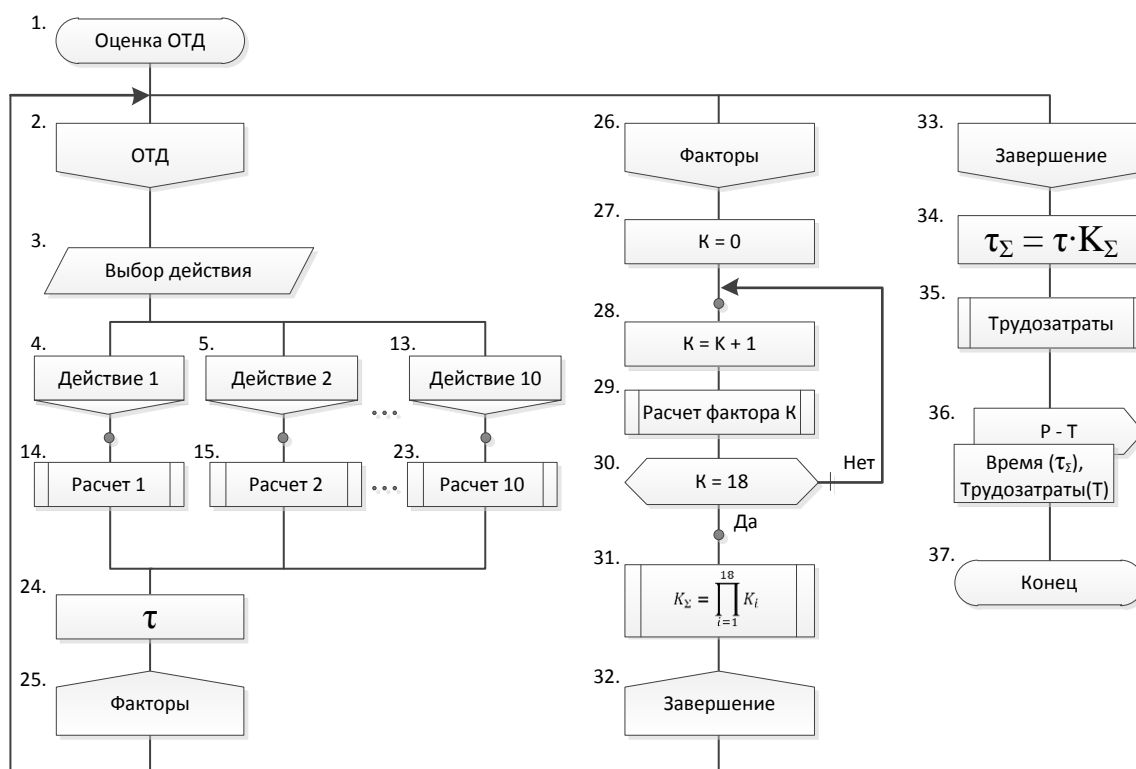


Рис. 4. Блок-схема компьютерной программы "Оценка ОТД":

1 – название модели; 2-25 – основной маршрут программы; 3-13 – выбор одного из десяти видов оперативно-тактических действий (ОТД), выполняемых пожарными при тушении пожара; 14-23 – вставка (подпрограммы расчёта показателей времени выполнения ОТД); 26-32 – расчёт значений коэффициентов, учитывающих влияние внешних факторов окружающей среды, а также уровень подготовки, оснащения и состояния пожарных, участвующих в выполнении ОТД; 34 – расчёт итогового времени выполнения ОТД с учётом влияющих факторов; 35 – расчёт трудозатрат на выполнение ОТД (2); 36 – передача расчётных параметров в "P-T" (рис. 3)

Следует отметить, что современный уровень развития технологий пока еще не позволяет создавать РТС, способных полностью заменить человека на пожаре. Даже самый неопытный пожарный по сумме умений, навыков, способностей к контролю окружающей обстановки, самоконтролю и анализу информации на несколько порядков превосходит РТС.

Но при выполнении ограниченного комплекса действий существующие РТС значительно превосходят людей по скорости и точности выполнения действий, а функции контроля и самоконтроля передаются отдельной системе, состоящей из трансляторов, ретрансляторов, измерительных приборов, позволяющих с высокой точностью отслеживать изменения всех необходимых параметров (температуры, уровня радиации, загазованности и др.) на всей территории ведения действий по тушению пожара.

К примеру, РТС, осуществляющее подачу огнетушащих веществ и находящееся в непосредственной близости от пожара, в случае изменения обстановки получит из пункта управления, находящегося за пределами опасной зоны, необходимый объем информации для выполнения адекватных действий, и в точности выполнит их.

Эксперименты по данному направлению активно ведутся специалистами ВНИИПО МЧС России совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана, ОАО "КамАЗ" и др. В 2014-2015 гг. на полигоне МЧС в г. Ногинске Московской области на автомобиле КамАЗ-4326 была испытана система, позволяющая автономно передвигаться по заданному маршруту, осуществляя управляющие действия низшего уровня (изменение скорости движения, объезд препятствий и др.).

Несмотря на то что, количество случаев применения РТС на пожарах ежегодно не превышает нескольких десятков, тем не менее, анализируя накопленный опыт можно выделить ряд позиций значительного превосходства РТС, по сравнению с существующей пожарной техникой.

Во-первых, возможность кратного повышения уровня защиты техники от негативного воздействия опасных факторов пожара, что в существующей технике невозможно из-за присутствия людей, а увеличение степени защиты человека будет ограничивать возможности самого человека, что в конечном итоге приведет к общему снижению эффективности действий пожарного подразделения.

Во-вторых, возможность РТС выполнять необходимые действия быстрее и точнее, по сравнению с человеком, что позволит, например, повысить точность подачи огнетушащих веществ в очаг пожара и при использовании стволов с высоким расходом ($100 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1}$ и более) поможет избежать излишних проливов воды, дополнительно осложняющих условия работы для пожарных, особенно при низких температурах окружающей среды.

В третьих, при использовании РТС возможно общее повышение уровня управляемости пожарных подразделений за счёт использования системы контроля (трансляторов, измерительных приборов, средств связи, геоинформационной системы и т.д.), и, кроме того, применение РТС позволяет уменьшить требуемое количество пожарных без снижения интенсивности тушения [6].

Однако, как показывает практический опыт, применение РТС без решения комплекса задач, связанного с организацией управления пожарными подразделениями, не приведёт к желаемому повышению эффективности действий. Для управления группировкой РТС требуются значительно больший объём и качество информации, по сравнению с имеющимися у пожарных подразделений. РТП даже при помощи других специалистов в условиях острого дефицита времени на пожаре физически не сможет обработать весь объём информации, поступающей от систем контроля, и принять оптимальное решение. В данной ситуации может помочь только комплексное применение систем автоматизированного сбора и обработки информации, как, например, описанная выше система "Р-Т" или аналогичная, способная подготовить несколько вариантов практически применимых и обоснованных вариантов плана проведения действий по тушению пожара, из которых РТП выберет один для практической реализации.

Литература

1. Анализ современного состояния пенного пожаротушения углеводородных жидкостей и выбор направлений исследований по повышению эффективности применения пен при тушении пожаров: Отчёт о научно-исследовательской работе / ВНИИПО; науч. рук. темы И.Ф. Безродный. М., 2005.
2. Разработка методических рекомендаций по применению в подразделениях МЧС России робототехнических средств при проведении аварийно-спасательных работ и пожаротушения: Отчёт о научно-исследовательской работе / ВНИИПО; науч. рук. темы М.В. Савин. М., 2013, 55 с.
3. Терехин С.Н. Методология создания локальной системы позиционирования подразделений пожарной охраны МЧС России на основе ретрансляции сигналов глобальной навигационной системы ГЛОНАСС: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. СПб., 2011. 52 с.
4. Оценка оперативно-тактических действий (Оценка ОТД) // Свидетельство о государственной регистрации от 24.06.14 № 2014616432. Авторы: Власов К.С., Денисов А.Н. Сайт технической поддержки <https://sites.google.com/site/normativ2/>
5. Паронджанов В.Д. Учись писать, читать и понимать алгоритмы. Алгоритмы для правильного мышления. Основы алгоритмизации. М.: ДМК Пресс, 2012. 520 с.
6. Григорьев А.Н. Поддержка принятия управленческих решений при тушении крупных пожаров в общественных зданиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 26 с.