

А.Н. Денисов¹, Ю.В. Прус¹, О.И. Степанов²
(¹Академия ГПС МЧС России, ²ГУ МЧС России по ХМАО – Югре;
e-mail: dan_aleks@mail.ru)

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИМИ ДЕЙСТВИЯМИ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ЖИЛОГО СЕКТОРА

На основе аппарата сетей Петри предложена методика действий пожарных подразделений при тушении пожаров в зданиях IV-V степеней огнестойкости.

Ключевые слова: позиция, моделирование, алгоритм, жилое здание.

A.N. Denisov, Yu.V. Prus, O.I. Stepanov

METHODS OF CONTROL OF OPERATIONAL-TACTICAL ACTIONS OF FIRE DEPARTMENTS DURING EXTINGUISH FIRES IN THE RESIDENTIAL SECTOR

On the basis of the device of Petri nets proposed the method of action for fire departments to extinguish fires in buildings IV and V degrees of fire resistance.

Key words: position, modeling, algorithm, residential building.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 17 марта 2016 г.

Организация тушения пожаров в зданиях IV-V степени огнестойкости (**здания с низкой устойчивостью при пожаре (ЗНПУ)**) представляется сложным организационно-управленческим процессом, изучение которого не возможно без его комплексного анализа и исследования его отдельных операций и связей [1].

Наиболее перспективными путями совершенствования **оперативно-тактических действий (ОТД) пожарных подразделений (ПП)** на месте пожара в научных работах определены:

- исследование сосредоточения сил и средств пожарно-спасательных подразделений [2, 3];
- совершенствование пожарной техники, снижающее либо степень участия человека в пожаротушении, либо исключаящее непосредственное участие человека в сфере исполнительных функций (взамен наделяющее его управленческими функциями) [4, 5];
- совершенствование системы управления подразделениями на основе результатов моделирования действий оперативных отделений ПП [6, 7];
- применение **систем поддержки принятия решений (СППР)** как аппарата **руководителя тушения пожара (РТП)** [8-10].

В целях формализации модели управления ПП, представим силы и средства подразделений в виде позиций (по тушению пожара и обеспечению действий по тушению пожара) [6, 10]. При этом позиция по **ведению оперативно-тактических действий (ОТД)** является совокупностью элементов организационной системы пожаротушения, объединенных общей пространственно-временной дислокацией, целевой функцией и единством задач на заданном участке тушения пожара.

Одним из определяющих критериев позиций по ведению ОТД является постоянство её структуры – принимается утверждение, что на протяжении действий подразделений на пожаре её структура не изменяется, но меняются задачи, месторасположение, используемые ресурсы и время функционирования).

В рамках настоящей статьи представим позиции по ведению ОТД как:

1) **позиции по тушению пожара (ПТ)**, на которых осуществляется ведение действий по спасению людей и имущества, подаче огнетушащих веществ и выполнение специальных работ непосредственно на объекте пожара;

2) **позиции обеспечения действий по тушению пожара (ПД)**, на которых осуществляются обеспечивающие действия, непосредственно не связанные со спасением людей и подачей огнетушащих веществ на тушение пожара.

К ПД отнесём основной пожарный автомобиль (ПА), установленный на источник противопожарного водоснабжения; ПА как ступень перекачки и т.д., а также технику, находящуюся в резерве (на месте пожара), так как данная техника представляет собою потенциальную позицию (пассивную ПД).

Для моделирования управления желательно сходство топологической структуры со схемой ОТД сил и средств пожарно-спасательных подразделений на пожаре.

Представим структуру модели системы управления ПП в виде модифицированных сетей Петри и опишем управляемые переходы при моделировании управления силами и средствами в ходе ликвидации пожара. Для формализации принятия управленческого решения используются следующие символы:

$P_{tTr_j}^{Sis_m 0(p2)}$ – моделирующий перемещение сил и средств вида (Sis_j) между позициями по тушению пожара (Poz_i) и (Poz_j);

$P_{tTr_j}^{Zr_kSis_m 0(p2)}$ – моделирующий перемещение ресурсов вида (Zr_k) при помощи сил и средств вида (Sis_j) между позициями по тушению пожара (Poz_i) и (Poz_j);

$P_{tPoz_i}^{Sis_m F_k (l)}$ – моделирующий ликвидацию ОФП вида (F_k) с использованием сил и средств вида (Zr_k) на позиции по тушению пожара (Poz_i).

Для обозначения принятия управленческого решения о переброске сил и средств, ресурсов или начале локализации и ликвидации пожара необходимо дополнить каждый переход управляющей позицией и, занося маркер в эту или иную позицию, разрешать соответствующий переход (выполнять поставленную управленческую задачу) (рис. 1).

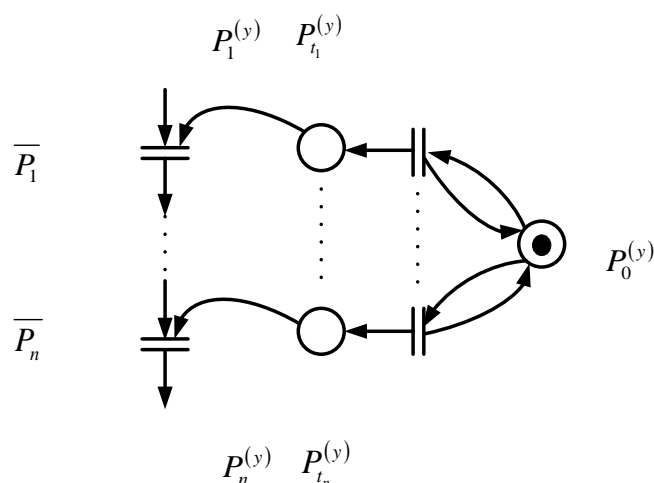


Рис. 1. Элементарный фрагмент управляющей подсети (P^y), отображающий управляющие переходы (управляющие позиции ($P_0^{(y)}, \dots, P_n^{(y)}$) и управляющие переходы ($P_{t_1}^{(y)}, \dots, P_{t_n}^{(y)}$))

В этом фрагменте подсети кратности дуг и задержки переходов равны единице. Факт принятия управляющего решения в подсети управления силами и средствами ПП будет моделироваться срабатыванием соответствующего управляющего перехода ($P_{t_i}^{(y)}$) в момент времени T и перемещением маркера в управляющую позицию ($P_i^{(y)}$). Минимальное время, требуемое на передачу управляющих воздействий, зависит от используемого канала связи. Если переход ($P_{t_i}^{(y)}$) срабатывает несколько раз подряд, то в управляющую позицию будет перемещено несколько маркеров.

Число поступивших маркеров будет ограничивать число срабатываний управляемого перехода \bar{P}_i и будет отражать количество задействованных на выполнение поставленной задачи сил и средств ПП, сосредоточенных на месте пожара.

На основании вышеизложенного, управление Y в модели системы пожаротушения, в которой отражаются процессы возникновения, развития, локализации и ликвидации пожара, может быть формализовано:

$$Y = (P_i^{(y)}, k^s, \tau^s), \quad (1)$$

где $P_i^{(y)}$ – управляющее решение о переброске сил и средств на (или с) позиции по тушению пожара (срабатывающий переход);

k^s – количество перебрасываемых сил и средств на (или с) позиции по тушению пожара (кратность срабатывания перехода);

τ^s – время срабатывания управляющего перехода (время начала перемещения сил и средств).

Постановка и реализация задач планирования и оперативного управления силами и средствами на пожаре заключается в нахождении управления Y , максимально приближенному к заданным критериям РТП:

$$\begin{cases} \min_Y I(M_r(p)); \\ \min K(M_r(p), T, \tau_H), \end{cases} \quad (2)$$

где $M_r(p)$ – число маркеров в позиции p ;

τ_H – нормативное (расчётное) время выполнения поставленной задачи на пожаре.

Если приложенное управляющее воздействие не может быть реализовано, то подразумевается о дефиците сил и средств (ресурсов) подразделений для выполнения операций по локализации и ликвидации пожара. Рациональное управление, в этом случае, будет заключаться в распределении имеющихся сил и средств для выполнения поставленной задачи в кратчайшие сроки на определённом участке пространства объекта пожара:

$$\begin{cases} \overrightarrow{\tau_H} = \min_Y I; \\ I(M_r(p)) \leq \overrightarrow{I}; \\ \min K(M_r(p), T, \overrightarrow{\tau_H}), \end{cases} \quad (3)$$

где $\overrightarrow{\tau_H}$, \overrightarrow{I} – наихудшие допустимые значения.

Формализуем постановку оперативных задач для рационального управления силами и средствами подразделений на пожаре. Для этого опишем алгоритм построения подсети P^r :

1. Проведём начальную инициализацию подсистемы. Поставим в соответствие каждому событию переход P_{tj} , а каждой оперативной задаче – позицию P_{pj} .

2. Введём в подсистему позиции P_{rij} , моделирующие ресурсы пожаротушения, выделенные РТП в резерв.

3. Зададим начальную маркировку μ (наличие маркера, в некоторой позиции (P_{pi}) означает, что в данный момент выполняется i -я операция ОТД):

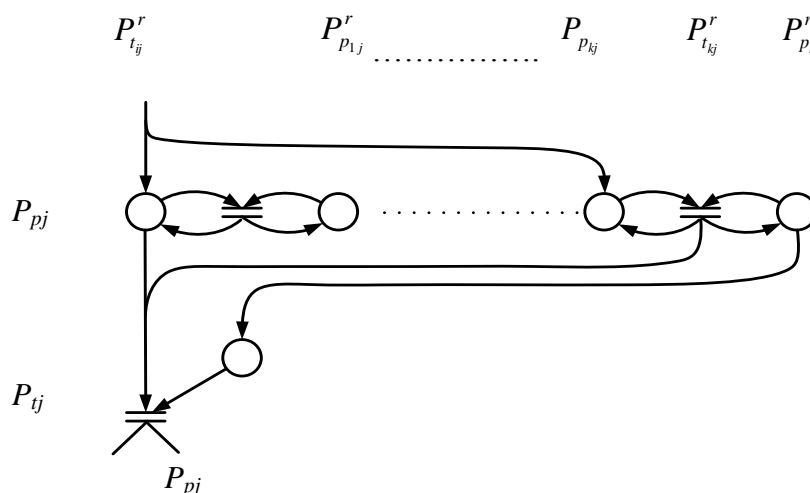
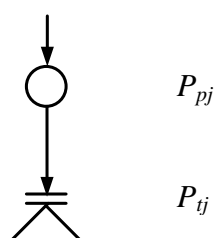
3.1. В начальной позиции находится один маркер ($\mu_0(P_{p0}) = 1$).

3.2. Исходное число маркеров равно объёму ресурсов сил и средств данного типа, выделенных на выполнение данной оперативной задачи ($\mu_0(P_{ij}^r) = Tr_{ij}$).

3.3. Остальные позиции пусты ($\mu_0(P_p) = 0$).

3.4. Заменяем каждую позицию P_{pj} и инцидентные ей дуги (рис. 2.) фрагментом подсети (рис. 3.).

Другими словами, пункт 3 алгоритма возможно интерпретировать следующим образом: в начале выполнения операции ОТД (P_{pi}) переходом (P_{tij}) маркеры заносятся в позиции (P_{pij}). Суммарный объем маркеров, моделирующих выделенные на выполнение ОТД ресурсы подразделений, ограничен и уменьшается при срабатывании переходов (P_{ij}^r). После этого переходы (P_{ij}^r) становятся возможными. При срабатывании этих переходов в позицию (P_{pj}) поступают маркеры, соответствующие выполненному объёму работ на позиции по тушению пожара. Причём, скорость поступления маркеров в эту позицию увеличивается с ростом выделенного на выполнение операции объёма ресурсов. Эта скорость также зависит от эффективности выполнения оперативной задачи на позиции по тушению пожара (P_{pi}) ресурсом i -го вида (ef_{ik}^s).



Задержки маркеров во всех позициях (P_{pij}) будут равны 0, а задержки (P_{ij}) в переходах и кратности дуг данного фрагмента подсети:

$$d(P_{j1}) = d(P_{j2}) = 0, d(P_{t_{ij}}^r) = 1, d(P_{pij}) = d(P_{pij}^r) = (P_{pij}^r) = 0;$$

$$I(P_{t_{j1}}, P_{pij}) = I(P_{pij}, P_{t_{j2}}) = Sis_{ij}^{\max},$$

$$I(P_{pij}, P_{t_{ij}}^r) = I(P_{t_{ij}}^r, P_{pij}) = 1, \bar{I}(P_{pij}, P_{t_{ij}}^r) = +\infty;$$

$$I(P_{pij}^r, P_{t_{ij}}^r) = I(P_{t_{ij}}^r, P_{pij}^r) = 1, \bar{I}(P_{pij}^r, P_{t_{ij}}^r) = +\infty;$$

$$I(P_{t_{ij}}^r, P_{pij}) = ef_{ik^s};$$

$$I(P_{pij}, P_{t_{j2}}) = \bar{I}(P_{pij}, P_{t_{j2}}) = \theta_j;$$

где Sis_{ij}^{\max} – наибольшее количество и объём ресурсов сил и средств i -го типа, который может быть задействован для выполнения оперативной задачи на позиции тушения пожара (P_{pij});

ef_{ik^s} – эффективность выполнения оперативной задачи на позиции тушения пожара (P_{pij}) ресурсом i -го вида;

θ_j – объём работ для выполнения оперативной задачи на позиции тушения пожара (P_{pij}).

Описанные выше положения позволили провести моделирование ОТД ПП при тушении пожара в ЗНППУ для оценки действий подразделений (рис. 4).

В этой сети управляющие позиции (P_{P1}, \dots, P_{P15}) и переходы (P_{t1}, \dots, P_{t14}), а также позиции P_{ri1} и P_{ri2} , моделирующие информационные ресурсы:

P_{t1} – ресурсы ПП прибыли на место пожара;

P_{P1} – ОТД "разведка пожара" и $P_{P1.1}$ – ОТД "предварительное развёртывание сил и средств";

$P_{t1.1}$ – силы и средства ПП провели экзогенную разведку пожара;

P_{ri1} – информационный ресурс, образованный в ходе экзогенной разведки пожара и потребляемый ресурсами ПП;

P_{t2} – РТП определил решающее направление действий по тушению пожара;

P_{P2} – ОТД "спасание людей" и $P_{P2.1}$ – ОТД "эндогенная разведка";

P_{P3} – ОТД "предотвращение взрыва и обрушения конструкций" и $P_{P3.1}$ – ОТД "эндогенная разведка";

P_{t3} – силы и средства ПП установили очаг пожара, месторасположения взрывоопасных веществ и угрожающих конструкций;

P_{P4} – ОТД "ликвидация горения на участках объекта пожара, на которых горение может нанести наибольший ущерб" и $P_{P4.1}$ – ОТД "эндогенная разведка";

P_{P5} – ОТД "ликвидация очагов наиболее интенсивного горения" и $P_{P5.1}$ – ОТД "эндогенная разведка";

$P_{t2.1}, P_{t2.2}, P_{t2.3}, P_{t2.4}$ – силы и средства ПП провели эндогенную разведку пожара;

P_{P6} – ОТД "защита рядом стоящих объектов";

P_{t4} – силы и средства ПП завершили спасание пострадавших, угроза жизни людей ликвидирована;

P_{ri2} – информационный ресурс, образованный в ходе эндогенной разведки пожара и установления очага;

P_{P7} – ОТД "действия сил и средств ПП по обеспечению предотвращения взрыва или обрушения строительных конструкций";

P_{t5} – силы и средства ПП установили расположение очага пожара и места наиболее интенсивного горения;

P_{t6} – силы и средства ПП установили объекты, которым угрожает пожар;

P_{t7} – силы и средства ПП выполнили задачу по предотвращению взрыва;

P_{P8} – ОТД "тушение пожара в помещениях 1-го этажа", $P_{P8.1}$ – ОТД "защита 2-го этажа", $P_{P8.2}$ – ОТД "защита чердака";

P_{P9} – ОТД "тушение пожара в помещениях 2-го этажа", $P_{P9.1}$ – ОТД "защита чердака", $P_{P9.2}$ – ОТД "защита 1-го этажа";

P_{P10} – ОТД "тушение пожара в чердаке через слуховые окна и места вскрытия конструкций", $P_{P10.1}$ – ОТД "защита 2-го этажа";

P_{P11} – ОТД "тушение пожара в пространстве лестницы", $P_{P11.1}$ – ОТД "защита 1-го этажа", $P_{P11.2}$ – ОТД "защита 2-го этажа", $P_{P11.3}$ – ОТД "защита чердака";

P_{t8} – силы и средства ПП ликвидировали горение в помещениях 1-го этажа;

P_{t9} – силы и средства ПП ликвидировали горение в помещениях 2-го этажа;

P_{t10} – силы и средства ПП ликвидировали горение в чердаке;

P_{t11} – силы и средства ПП ликвидировали горение в пространстве лестницы;

P_{P12} – ОТД "защита не горящих зданий (сооружений)";

P_{P13} – ОТД "локализация пожара";

P_{P14} – ОТД "ликвидация открытого горения";

P_{t12} – распространение пожара предотвращено;

P_{t13} – открытое горение ликвидировано;

P_{t14} – силы и средства ПП обеспечили защиту негорящих зданий (сооружений);

P_{P15} – ОТД "сбор ПТО и возвращение к месту дислокации".

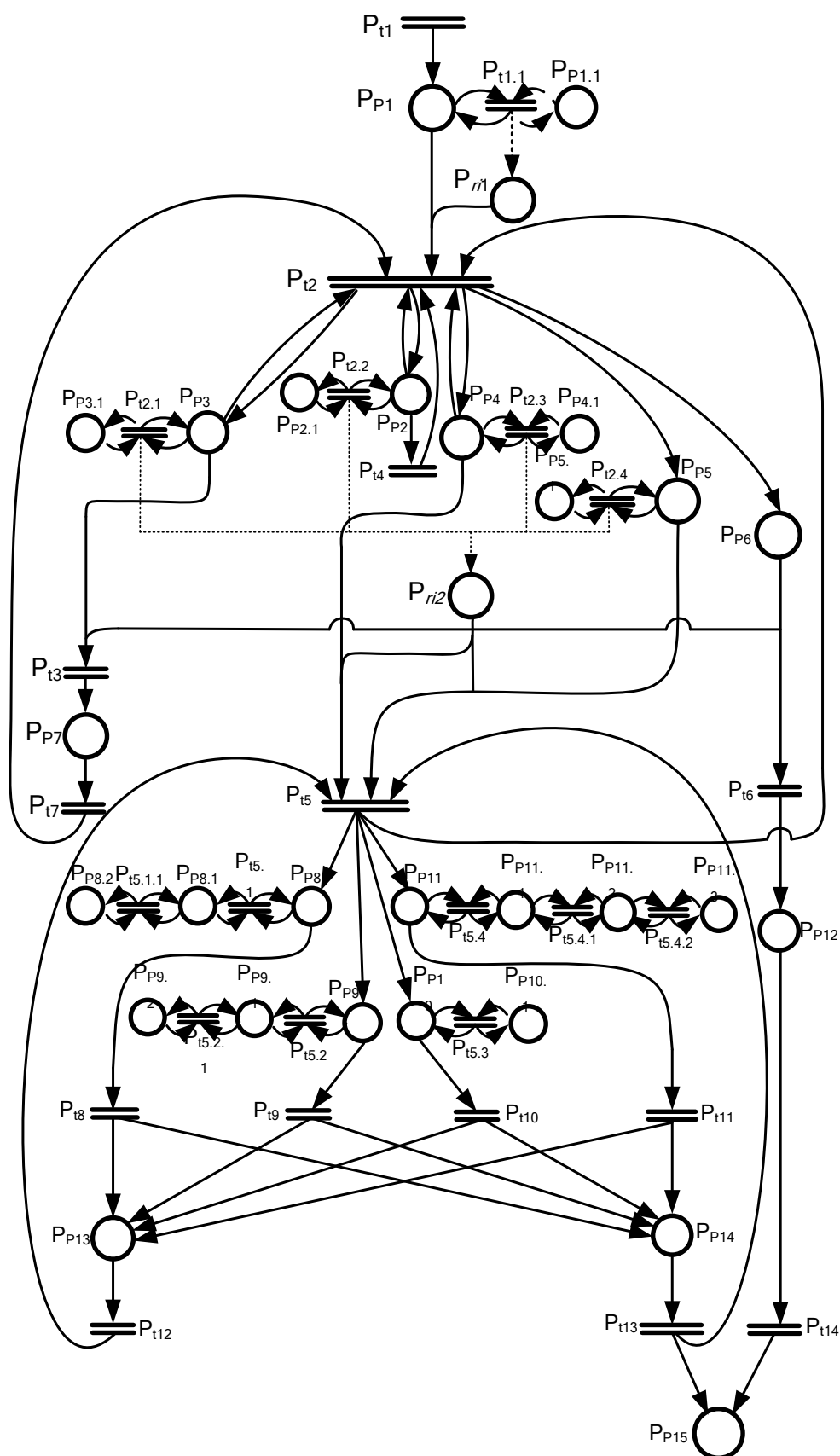


Рис. 4. Сеть Петри, отображающая процесс создания ПТ при тушении пожаров в ЗНППУ

Эта сеть позволяет учитывать временные показатели процесса пожаротушения, путём задания времени срабатывания управляющего перехода (τ^s).

Например, время срабатывания переходов ($P_{t2.1}, P_{t2.2}, P_{t2.3}, P_{t2.4}$) определяется исходя из количества маркеров, поступивших в позиции ($P_{P2}, P_{P3}, P_{P4}, P_{P5}$). При этом временные показатели, установленные эмпирическим путем для одной секции (подъезда) типового здания низкой устойчивости при пожаре, соответствуют значениям (табл. 1).

Таблица 1

Количество звеньев ГДЗС, участвующих в опыте / число участников, чел.	Время проведения разведки на 1 эт.	Среднее время работы звена ГДЗС	Время проведения разведки на 2 эт.	Среднее время работы звена ГДЗС
1 / 3	6 мин. 50 с	6 мин. 50 с	15 мин. 5 с	15 мин. 5 с
2 / 6	4 мин. 39 с	4 мин. 39 с	10 мин. 1 с	5 мин. 1 с
3 / 9	5 мин. 8 с	5 мин. 8 с	4 мин. 48 с	5 мин. 0 с

Время срабатывания переходов $P_{t5.1} \dots P_{t5.4}$ определяется периодом достижения требуемых значений параметров пожаротушения ($Q_{\text{треб.}}^{\text{туш.}}, V_{\text{по}}^{\text{треб.}}, N_{\text{ств.}}^{\text{треб.}}, N_{\text{л/с}}^{\text{треб.}}$), то есть поступлением маркеров в позиции ($P_{P8}, P_{P9}, P_{P10}, P_{P11}$).

Выводы

Показана необходимость создания максимального числа позиций на тушение, обеспеченных соответствующими ресурсами, иными словами, обязательная реализация тактического потенциала пожарных подразделений – создание не менее одной позиции по тушению пожара одним оперативным отделением [10].

Этому может способствовать применение при тушении, в том числе на первоначальном этапе пожаротушения:

- специальных (АЛ, АПК, АЛ с ПН) и основных (АЛЦ, АПКЦ) пожарных автомобилей в качестве платформы для размещения средств подачи огнетушащих веществ;
- робототехнических комплексов с управляемыми дистанционно средствами подачи огнетушащих веществ;
- автоматических (роботизированных) лафетных стволов;
- стационарных систем пожаротушения объекта пожара, то есть позиций со средствами, расширяющими тактические возможности пожарных подразделений.

Литература

1. **Степанов О.И., Денисов А.Н., Надеев Р.В., Атанасов С.Н.** Оперативно-тактические действия пожарных подразделений по тушению пожаров в зданиях низкой устойчивости (IV–V степени) при пожаре: учебно-методическое пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 58 с.
2. **Григорьев А.Н., Гундар С.В., Денисов А.Н.** Управление силами и средствами при тушении пожаров (тактические возможности пожарных подразделений): монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. 112 с.
3. **Денисов А.Н., Опарин И.Д.** Уровни управления ресурсами пожарных подразделений на пожаре: матер. 2-й междунар. науч.-техн. конф. "Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации". М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. С. 220-224.
4. **Безбородько М.Д., Самохвалов Ю.П., Алексахин С.В.** Методика эргономической оценки пожарных автомобилей основного назначения. М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. 34 с.
5. **Власов К.С., Денисов А.Н., Цариченко С.Г.** Обоснование необходимости применения робототехнических средств для повышения тактических возможностей пожарных подразделений // Пожарная безопасность. № 4. 2014. С. 53-60.
6. **Данилов М.М., Денисов А.Н.** Моделирование пожаротушения мобильными средствами в резервуаре с двойной стенкой // Технологии техносферной безопасности. Вып. 5 (57). 2014. С. 67-76. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
7. **Денисов А.Н., Пряничников В.А., Роев В.В., Сверчков Ю.М.** Использование теории графов при моделировании боевых действий пожарных подразделений // Матер. 9-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2000" М.: Академия ГПС МВД России, 2000. С. 47-50.
8. **Даниленко А.С., Денисов А.Н., Журавлёв Ю.Г.** Разработать информационное и программное обеспечение АРМа для служб пожаротушения (Отчёт по НИР). М.: МИПБ МВД России, 1993. 210 с.
9. **Денисов А.Н., Власов К.С.** Оценка ОТД. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616432.
10. **Григорьев А.Н.** Поддержка принятия управленческих решений при тушении крупных пожаров в общественных зданиях: автореф. дисс. ... канд. тех. наук. М. 2012. 26 с.