

*А.Н. Денисов<sup>1</sup>, Ю.В. Прус<sup>1</sup>, О.И. Степанов<sup>2</sup>*  
(<sup>1</sup>Академия ГПС МЧС России, <sup>2</sup>ГУ 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 желательна сходство топологической структуры со схемой ОТД сил и средств пожарно-спасательных подразделений на пожаре.

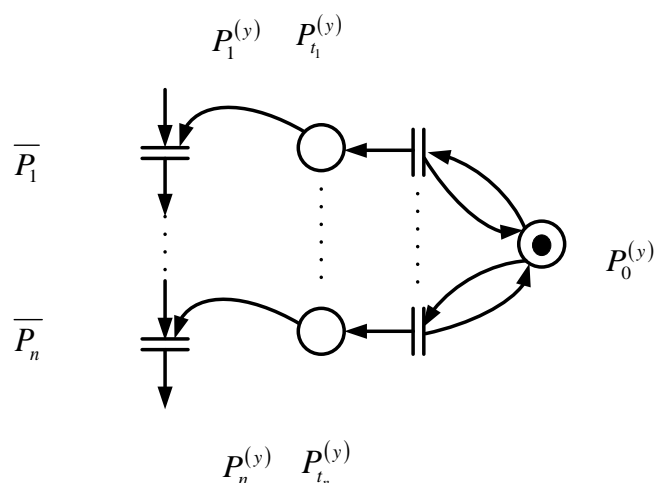
Представим структуру модели системы управления ПП в виде модифицированных сетей Петри и опишем управляемые переходы при моделировании управления силами и средствами в ходе ликвидации пожара. Для формализации принятия управленческого решения используются следующие символы:

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

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

$P_{iPoz_i}^{Sis_m F_k (l)}$  – 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);

$\tau^s$  – 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  $p$ ;

$\tau_H$  – 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:

$$\begin{cases} \overleftarrow{\tau}_H = \min I; \\ I(M_r(p)) \leq \overleftarrow{I}; \\ \min K(M_r(p), T, \overleftarrow{\tau}_H), \end{cases} \quad (3)$$

где  $\overleftarrow{\tau}_H, \overleftarrow{I}$  – наилучшие 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  $\mu$  (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 ( $P_{pj}$ ) переходом ( $P_{tij}$ ) маркеры заносятся в позиции ( $P_{pij}$ ). Суммарный объём маркеров, моделирующих выделенные на выполнение ОТД ресурсы подразделений, ограничен и уменьшается при срабатывании переходов ( $P_{t_{ij}}^r$ ). После этого переходы ( $P_{t_{ij}}^r$ ) 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 ( $P_{pj}$ ) ресурсом  $i$ -го вида ( $ef_{ik^s}$ ).

Когда необходимая оперативная задача на позиции по тушению выполнена (то есть число маркеров в позиции ( $P_{pj}$ ) достигло  $\theta_j$ ), срабатывает переход ( $P_{tj2}$ ), маркеры из позиций ( $P_{pj}$ ) и ( $P_{pij}$ ) изымаются и передаются в позиции, соответствующие последующим выполняемым операциям ОТД на позициях по тушению пожара.

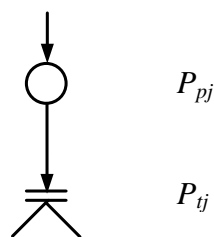


Рис. 2. Элементарный фрагмент подсети

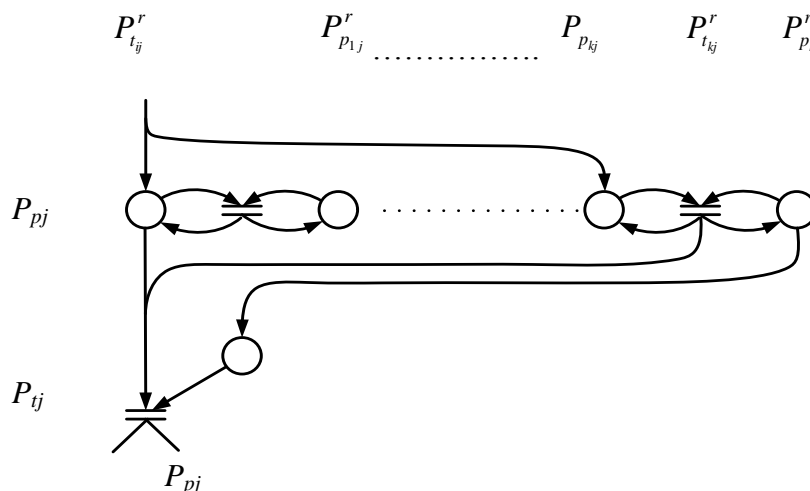


Рис. 3. Типовой фрагмент подсети, позволяющей моделировать создание и использование резерва сил и средств

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

$$d(P_{j1}) = d(P_{j2}) = 0, d(P_{t_j}^r) = 1, d(P_{pj}) = d(P_{pij}) = (P_{p_j}^r) = 0;$$

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

$$I(P_{p_j}, P_{t_j}^r) = I(P_{t_j}^r, P_{p_j}) = 1, \bar{I}(P_{p_j}, P_{t_j}^r) = +\infty;$$

$$I(P_{p_j}^r, P_{t_j}^r) = I(P_{t_j}^r, P_{p_j}^r) = 1, \bar{I}(P_{p_j}^r, P_{t_j}^r) = +\infty;$$

$$I(P_{t_j}^r, P_{p_j}) = ef_{ik^s};$$

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

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 ( $P_{pj}$ );

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

$\theta_j$  – объём работ для выполнения оперативной задачи на позиции тушения пожара ( $P_{pj}$ ).

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";

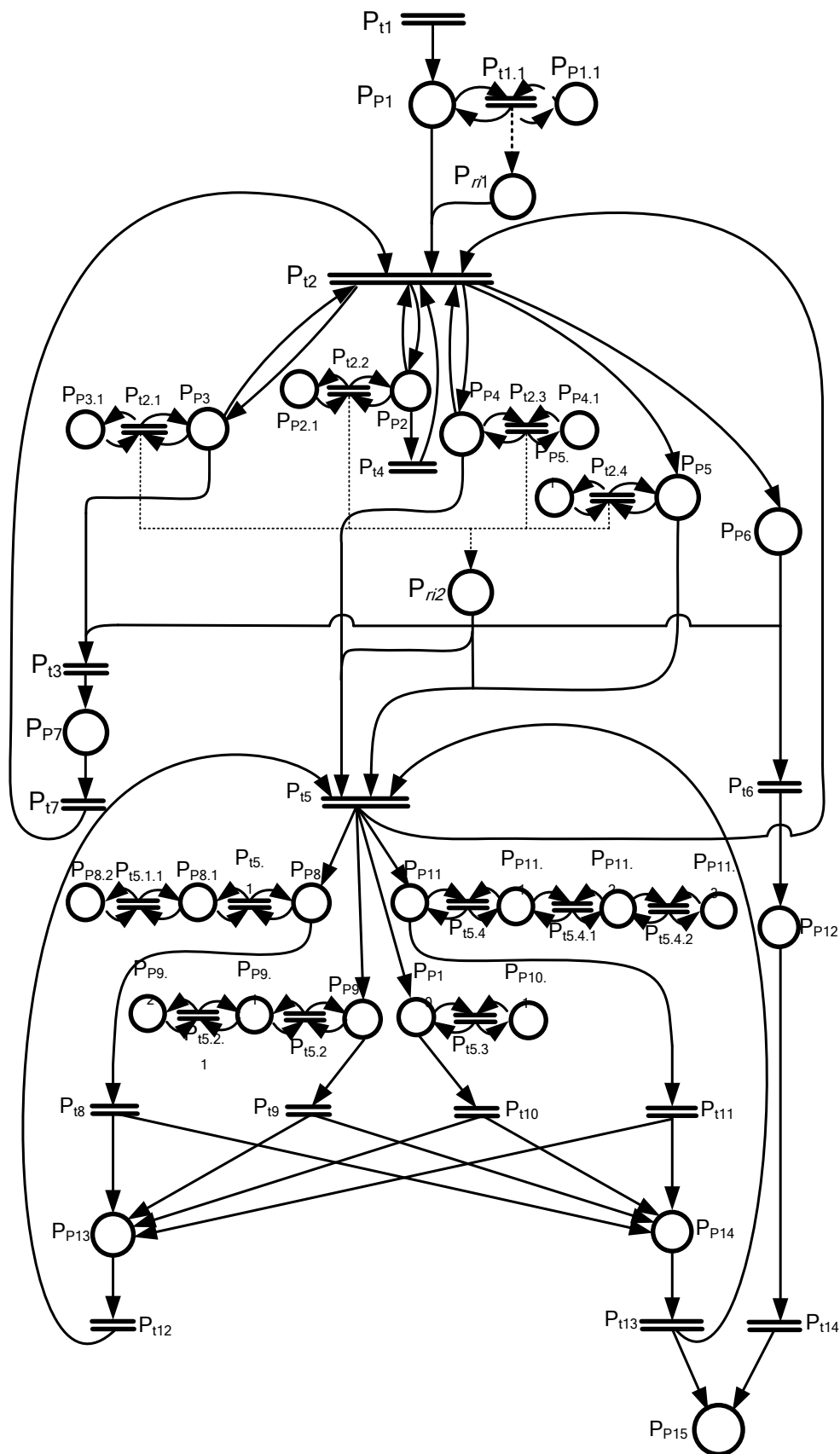
$P_{P14}$  – ОТД "ликвидация открытого горения";

$P_{t12}$  – 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 ЗНПШУ



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

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 ( $Q_{треб.}^{туш.}, V_{по}^{треб.}, N_{ств.}^{треб.}, N_{л/с}^{треб.}$ ), 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., Роевко 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.