

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ТУШЕНИЕМ КРУПНОГО ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

**В. А. Гадышев, доктор технических наук, кандидат экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ;
М. Т. Целех. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлена методика и на ее основе получена модель процессов управления тушением крупного пожара, включающая руководителя тушения пожара, начальника оперативного штаба пожаротушения, начальника тыла, начальников боевых участков, представителя администрации, представленная в виде системы массового обслуживания, что позволило получить количественные значения основных показателей пожара.

Ключевые слова: оперативный штаб, тушение пожара, система массового обслуживания, ликвидация ЧС

Успешное выполнение боевых задач при тушении пожаров основано на эффективной организации боевых действий, в том числе своевременном сосредоточении на месте пожара необходимых для его ликвидации сил и средств, умелой их расстановкой и активным, наступательным применением с учетом решающего направления [1, 2].

При тушении пожаров по повышенному номеру вызова, когда задействовано большое количество личного состава, техники и оборудования, в помощь руководителю тушением пожара (РТП), для управления и координации действий личного состава подразделений ГПС, служб жизнеобеспечения и администрации объекта, создается оперативный штаб пожаротушения (ОШ).

Согласно [1, ст.55] ОШ является временно сформированным нештатным органом управления на пожаре и создается при:

- привлечении на тушение пожара сил и средств по повышенному номеру (рангу) пожара;
- организации на месте пожара трех и более боевых участков;
- необходимости детального согласования с администрацией предприятия действий по тушению пожара.

Работой оперативного штаба руководит его начальник (НШ), который одновременно является заместителем РТП. В состав ОШ могут входить заместитель НШ, начальник тыла (НТ), представители администрации предприятия и другие лица по усмотрению РТП. Работа оперативного штаба осуществляется на основе распоряжений и указаний РТП.

Основными задачами оперативного штаба [1, ст. 56] являются:

- сбор, обработка и анализ данных об обстановке на пожаре, передача необходимой информации РТП и диспетчеру гарнизона;
- определение потребности в силах и средствах, подготовка соответствующих предложений для РТП;
- обеспечение контроля за выполнением поставленных задач;
- организация подготовки и обеспечение ведения боевых действий по тушению пожара;
- учет сил и средств на пожаре, расстановка их по боевым участкам (секторам), ведение документации;
- создание на пожаре резерва сил и средств;
- обеспечение работы газодымозащитной службы (ГДЗС) и связи на пожаре;

- обеспечение мероприятий по охране труда личного состава на пожаре;
- реализация мер по поддержанию боевой готовности сил и средств, участвующих в тушении пожара;
- обеспечение взаимодействия с аварийными, аварийно - спасательными формированиями и службами жизнеобеспечения населенных пунктов и объектов, привлекаемыми к тушению пожара.

В работе [3] научно показано, что при заданных условиях (интенсивность поступающего потока сигналов, время на обслуживание одного сигнала) РТП может руководить только определенным количеством подразделений, если же для тушения пожара необходимо большее количество подразделений, то появляется потребность в формировании ОШ.

Моделирование управления оперативными подразделениями ГПС МЧС России на пожаре путем создания ОШ поможет выявить основные моменты, на которые необходимо обратить внимание для немедленного реагирования, повышения эффективности и оперативности работы.

Для формирования модели работы ОШ в основу ее положена теория массового обслуживания, так как исследуемая система управления, в силу большого потока информации (доклады, распоряжения, сообщения) между участниками тушения пожара и (или) ликвидации ЧС не что иное, как система массового обслуживания (СМО).

Управление подразделениями на пожаре может осуществляться с использованием таких видов связи, как: радиосвязь, телефонная и (или) мобильная связь, с применением проводных систем (например, СПУ-3А, полевой телефон), а также с использованием специальных сигналов (звуковых, светотехнических) и т.д. Непосредственное руководство участниками тушения пожара осуществляется через штатных начальников, назначаемых на время его тушения: РТП, НШ, начальников секторов, начальников боевых участков (НБУ), НТ, начальника контрольно-пропускного пункта ГДЗС. Схема управления участниками тушения крупного пожара приведена на рис. 1.

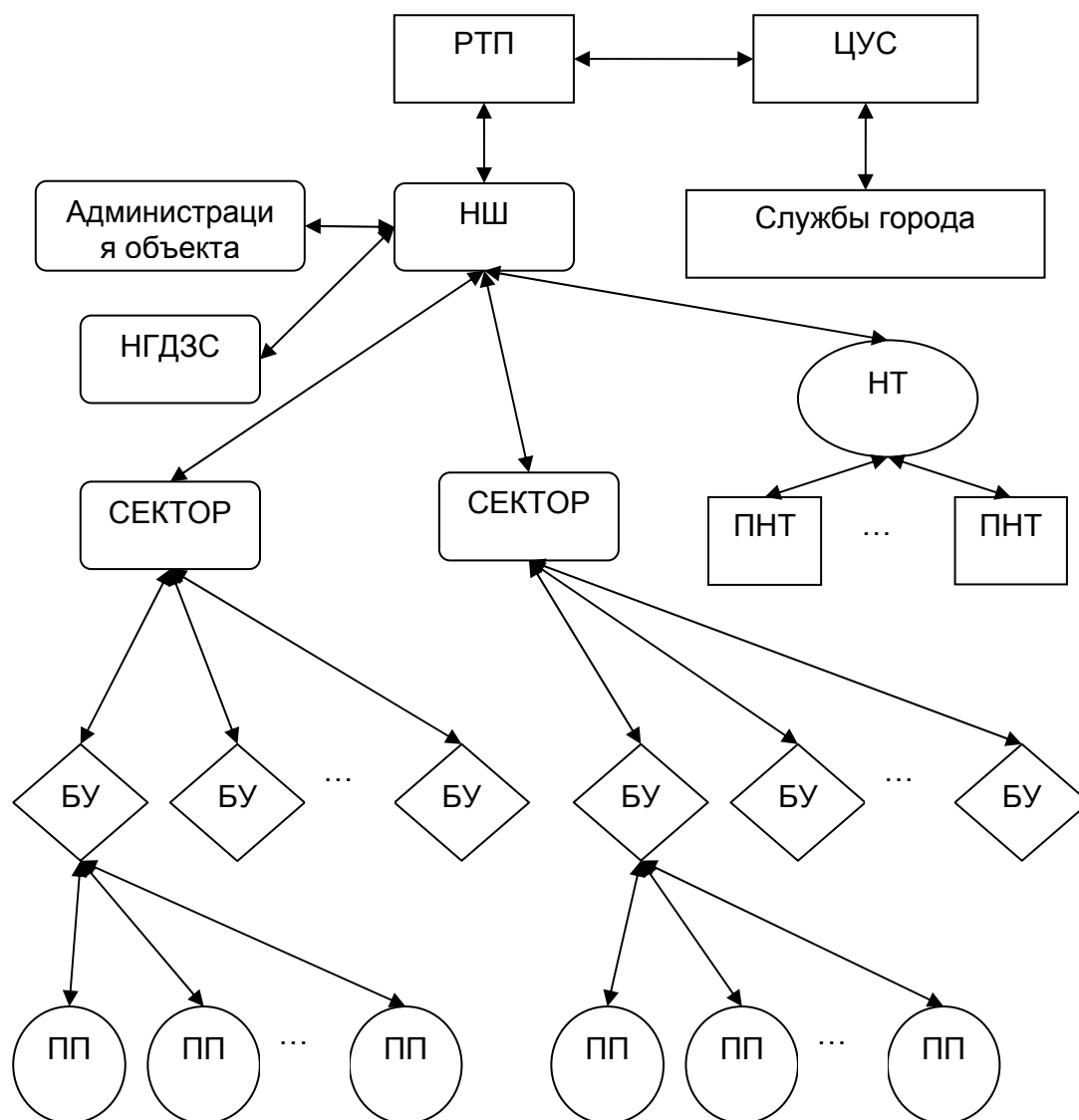


Рис.1. Схема управления подразделениями при тушении крупных пожаров

На практике, чаще всего на пожаре создаются два боевых участка: 1 – отыскание и спасение людей; 2 – тушение пожара. Управление участниками тушения пожара происходит через РТП, НШ, НБУ-1, НБУ-2, начальника тыла и представителя администрации объекта. Также регулярно происходит обмен информацией об обстановке на месте пожара (ЧС) и принятых решениях по спасению людей, тушению пожара между центром управления силами (ЦУС) и НШ. И именно система, представленная на рис. 2, выбрана автором для изучения.

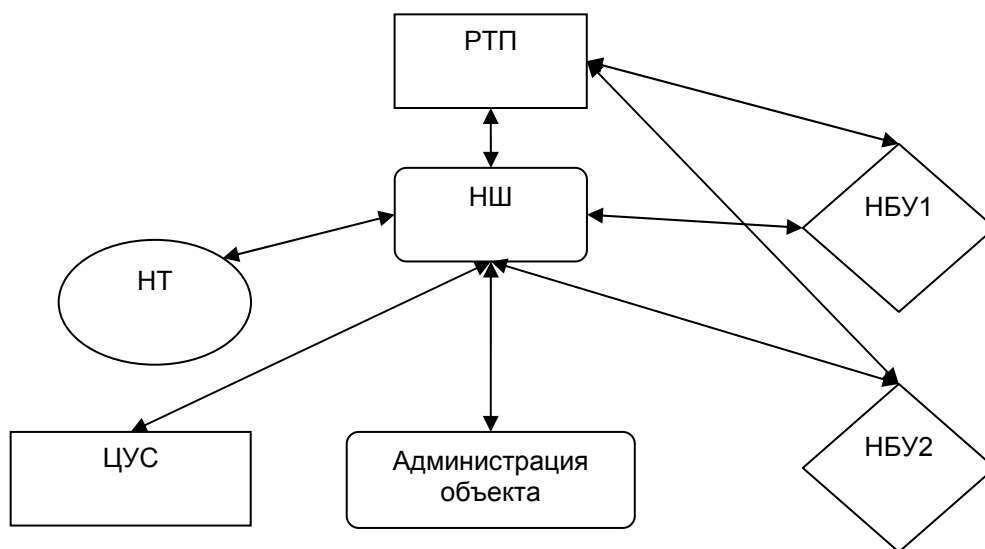


Рис. 2. Схема управления участниками тушения пожара

Кроме того, в большинстве случаев, связь на пожаре происходит путем ведения радиообмена на основном канале. Поэтому за основу связи на месте пожара взят радиообмен, так как он ведется только между двумя абонентами, и его содержание становится известным всем абонентам, технические средства которых по своим характеристикам позволяют принимать данную радиочастоту, а именно всем участникам тушения пожара.

И второе, вмешиваться в радиообмен между двумя радиостанциями разрешается только главным радиостанциям и радиостанциям, работающим на месте пожара, при необходимости вызова дополнительных сил и объявления повышенного номера пожара [4]. Другие виды связи при моделировании системы управления подразделениями на пожаре учитываться не будут.

Система может пребывать в состояниях, при которых в очереди может находиться один и более абонентов. При очереди два и более абонента, с учетом правил ведения радиообмена, обслуживаться будет тот абонент, который первым вышел на связь (установил радиообмен), а второй получит отказ. С учетом того, что тушение пожара это динамический процесс, и обстановка на его месте постоянно меняется, то мы при моделировании системы и для ее упрощения будем использовать только те состояния, при которых в ожидании находится только один абонент.

В итоге мы получили замкнутую систему массового обслуживания с сорока девятью состояниями, которые отражены в табл. 1.

Соответствующий ориентированный граф переходов отражен на рис.3.

Данную СМО можно решить через системы обыкновенных дифференциальных уравнений 1-го порядка. Однако мы будем считать, что данный процесс, протекающий в системе, является марковским. Тогда удастся сравнительно просто описать работу системы с помощью аппарата линейных алгебраических уравнений и выразить в явном виде основные характеристики эффективности обслуживания через параметры СМО и потока заявок.

Таблица 1. Состояния СМО

S_i	Состояние системы
S_1	Канал свободен
S_2	НШ↔НБУ-1
S_3	НШ↔НБУ-1, ожидает РТП→НШ
S_4	НШ↔НБУ-1, ожидает РТП→НБУ-1
S_5	НШ↔НБУ-1, ожидает НБУ-2→НШ
S_6	НШ↔НБУ-1, ожидает НТ→НШ
S_7	НШ↔НБУ-1, ожидает представитель администрации→НШ
S_8	НШ↔НБУ-1, ожидает ЦУС→НШ
S_9	НШ↔НБУ-2
S_{10}	НШ↔НБУ-2, ожидает РТП→НШ
S_{11}	НШ↔НБУ-2, ожидает РТП→НБУ-2
S_{12}	НШ↔НБУ-2, ожидает НБУ-1→НШ
S_{13}	НШ↔НБУ-2, ожидает НТ→НШ
S_{14}	НШ↔НБУ-2, ожидает представитель администрации→НШ
S_{15}	НШ↔НБУ-2, ожидает ЦУС→НШ
S_{16}	РТП↔НШ
S_{17}	РТП↔НШ, ожидает НБУ-1→РТП
S_{18}	РТП↔НШ, ожидает НБУ-1→НШ
S_{19}	РТП↔НШ, ожидает НБУ-2→РТП
S_{20}	РТП↔НШ, ожидает НБУ-2→НШ
S_{21}	РТП↔НШ, ожидает НТ→НШ
S_{22}	РТП↔НШ, ожидает представитель администрации →НШ
S_{23}	РТП↔НШ, ожидает ЦУС→НШ
S_{24}	НШ↔НТ
S_{25}	НШ↔НТ, ожидает РТП→НШ
S_{26}	НШ↔НТ, ожидает НБУ-1→НШ
S_{27}	НШ↔НТ, ожидает НБУ-2→НШ
S_{28}	НШ↔НТ, ожидает представитель администрации→НШ
S_{29}	НШ↔НТ, ожидает ЦУС→НШ
S_{30}	РТП↔НБУ-1
S_{31}	РТП↔НБУ-1, ожидает НШ→РТП
S_{32}	РТП↔НБУ-1, ожидает НШ→НБУ-1
S_{33}	РТП↔НБУ-1, ожидает НБУ-2→РТП
S_{34}	РТП↔НБУ-2
S_{35}	РТП↔НБУ-2, ожидает НШ→РТП
S_{36}	РТП↔НБУ-2, ожидает НШ→НБУ-2
S_{37}	РТП↔НБУ-2, ожидает НБУ-1→РТП
S_{38}	НШ↔представитель администрации
S_{39}	НШ↔представитель администрации, ожидает РТП→НШ
S_{40}	НШ↔представитель администрации, ожидает НБУ-1→НШ
S_{41}	НШ↔представитель администрации, ожидает НБУ-2→НШ
S_{42}	НШ↔представитель администрации, ожидает НТ→НШ
S_{43}	НШ↔представитель администрации, ожидает ЦУС→НШ
S_{44}	НШ↔ЦУС
S_{45}	НШ↔ЦУС, ожидает РТП→НШ
S_{46}	НШ↔ЦУС, ожидает НБУ-1→НШ
S_{47}	НШ↔ЦУС, ожидает НБУ-2→НШ
S_{48}	НШ↔ЦУС, ожидает НТ→НШ
S_{49}	НШ↔ЦУС, ожидает представитель администрации→НШ

Примечание: «↔» – установившийся радиообмен; «→» – необходимо связаться.

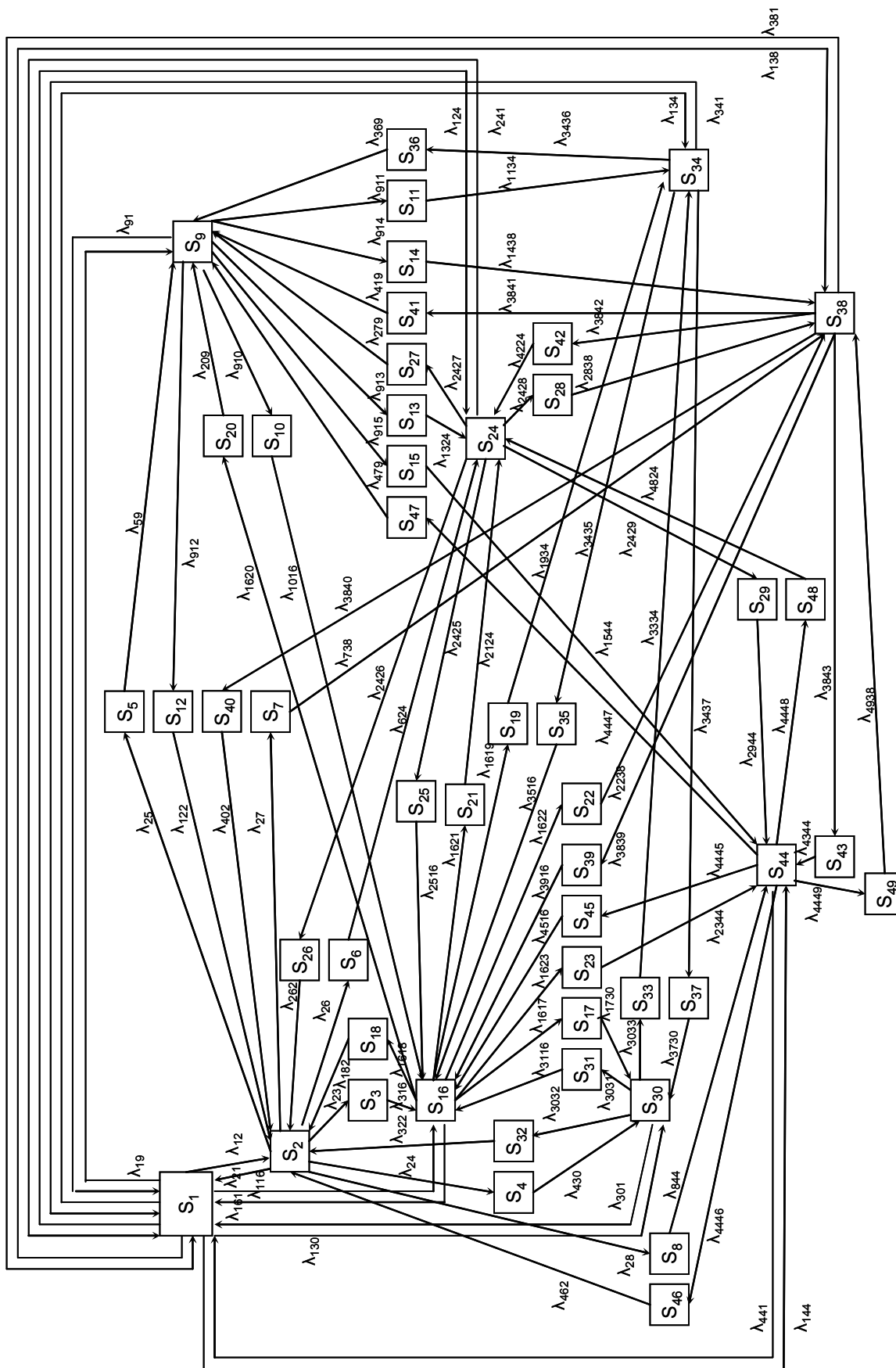


Рис. 3. Граф переходов системы массового обслуживания

Поэтому решение данной СМО приведем к решению системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned}
 0 &= -(\lambda_{12} + \lambda_{19} + \lambda_{116} + \lambda_{124} + \lambda_{130} + \lambda_{134} + \lambda_{138} + \lambda_{144})P_1 + \lambda_{91}P_9 + \lambda_{161}P_{16} + \lambda_{241}P_{24} + \lambda_{301}P_{30} + \lambda_{341}P_{34} + \\
 &+ \lambda_{381}P_{38} + \lambda_{441}P_{44} \\
 0 &= \lambda_{12}P_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25} + \lambda_{26} + \lambda_{27} + \lambda_{28})P_2 + \lambda_{122}P_{12} + \lambda_{182}P_{18} + \lambda_{262}P_{26} + \lambda_{322}P_{32} + \lambda_{402}P_{40} + \lambda_{462}P_{46} \\
 0 &= \lambda_{23}P_2 - \lambda_{316}P_3 \\
 0 &= \lambda_{24}P_2 - \lambda_{430}P_4 \\
 0 &= \lambda_{25}P_2 - \lambda_{59}P_5 \\
 0 &= \lambda_{26}P_2 - \lambda_{624}P_6 \\
 0 &= \lambda_{27}P_2 - \lambda_{738}P_7 \\
 0 &= \lambda_{28}P_2 - \lambda_{844}P_8 \\
 0 &= \lambda_{19}P_1 + \lambda_{59}P_5 - (\lambda_{91} + \lambda_{910} + \lambda_{911} + \lambda_{912} + \lambda_{913} + \lambda_{914} + \lambda_{915})P_9 + \lambda_{209}P_{20} + \lambda_{279}P_{27} + \lambda_{369}P_{36} + \lambda_{479}P_{47} \\
 0 &= \lambda_{910}P_9 - \lambda_{1016}P_{10} \\
 0 &= \lambda_{911}P_9 - \lambda_{1134}P_{11} \\
 0 &= \lambda_{912}P_9 - \lambda_{122}P_{12} \\
 0 &= \lambda_{913}P_9 - \lambda_{1324}P_{13} \\
 0 &= \lambda_{914}P_9 - \lambda_{1438}P_{14} \\
 0 &= \lambda_{915}P_9 - \lambda_{1544}P_{15} \\
 0 &= \lambda_{116}P_1 + \lambda_{316}P_3 + \lambda_{1016}P_{10} - (\lambda_{161} + \lambda_{1617} + \lambda_{1618} + \lambda_{1619} + \lambda_{1620} + \lambda_{1621} + \lambda_{1622} + \lambda_{1623})P_{16} + \lambda_{2516}P_{25} + \\
 &+ \lambda_{3116}P_{31} + \lambda_{3516}P_{35} + \lambda_{3916}P_{39} + \lambda_{4516}P_{45} \\
 0 &= \lambda_{1617}P_{16} - \lambda_{1730}P_{17} \\
 0 &= \lambda_{1618}P_{16} - \lambda_{182}P_{18} \\
 0 &= \lambda_{1619}P_{16} - \lambda_{1934}P_{19} \\
 0 &= \lambda_{1620}P_{16} - \lambda_{209}P_{20} \\
 0 &= \lambda_{1621}P_{16} - \lambda_{2124}P_{21} \\
 0 &= \lambda_{1622}P_{16} - \lambda_{2238}P_{22} \\
 0 &= \lambda_{1623}P_{16} - \lambda_{2344}P_{23} \\
 0 &= \lambda_{124}P_1 + \lambda_{624}P_6 + \lambda_{1324}P_{13} + \lambda_{2124}P_{21} - (\lambda_{241} + \lambda_{2425} + \lambda_{2426} + \lambda_{2427} + \lambda_{2428} + \lambda_{2429})P_{24} + \lambda_{4224}P_{42} + \lambda_{4824}P_{48} \\
 0 &= \lambda_{2425}P_{24} - \lambda_{2516}P_{25} \\
 0 &= \lambda_{2426}P_{24} - \lambda_{262}P_{26} \\
 0 &= \lambda_{2427}P_{24} - \lambda_{279}P_{27} \\
 0 &= \lambda_{2428}P_{24} - \lambda_{2838}P_{28} \\
 0 &= \lambda_{2429}P_{24} - \lambda_{2944}P_{29} \\
 0 &= \lambda_{130}P_1 + \lambda_{430}P_4 + \lambda_{1730}P_{17} - (\lambda_{301} + \lambda_{3031} + \lambda_{3032} + \lambda_{3033})P_{30} + \lambda_{3730}P_{37} \\
 0 &= \lambda_{3031}P_{30} - \lambda_{3116}P_{31} \\
 0 &= \lambda_{3032}P_{30} - \lambda_{322}P_{32} \\
 0 &= \lambda_{3033}P_{30} - \lambda_{3334}P_{33} \\
 0 &= \lambda_{134}P_1 + \lambda_{1134}P_{11} + \lambda_{1934}P_{19} + \lambda_{3334}P_{33} - (\lambda_{341} + \lambda_{3435} + \lambda_{3436} + \lambda_{3437})P_{34} \\
 0 &= \lambda_{3435}P_{34} - \lambda_{3516}P_{35} \\
 0 &= \lambda_{3436}P_{34} - \lambda_{369}P_{36} \\
 0 &= \lambda_{3437}P_{34} - \lambda_{3730}P_{37} \\
 0 &= \lambda_{138}P_1 + \lambda_{738}P_7 + \lambda_{1438}P_{14} + \lambda_{2238}P_{22} + \lambda_{2838}P_{28} - (\lambda_{381} + \lambda_{3829} + \lambda_{3840} + \lambda_{3841} + \lambda_{3842} + \lambda_{3843})P_{38} + \lambda_{4938}P_{49} \\
 0 &= \lambda_{3839}P_{38} - \lambda_{3916}P_{39} \\
 0 &= \lambda_{3840}P_{38} - \lambda_{402}P_{40} \\
 0 &= \lambda_{3841}P_{38} - \lambda_{419}P_{41} \\
 0 &= \lambda_{3842}P_{38} - \lambda_{4224}P_{42} \\
 0 &= \lambda_{3843}P_{38} - \lambda_{4344}P_{43} \\
 0 &= \lambda_{144}P_1 + \lambda_{844}P_8 + \lambda_{1544}P_{15} + \lambda_{2344}P_{23} + \lambda_{2944}P_{29} + \lambda_{4344}P_{43} - (\lambda_{441} + \lambda_{4445} + \lambda_{4446} + \lambda_{4447} + \lambda_{4448} + \lambda_{4449})P_{44} \\
 0 &= \lambda_{4445}P_{44} - \lambda_{4516}P_{45} \\
 0 &= \lambda_{4446}P_{44} - \lambda_{462}P_{46} \\
 0 &= \lambda_{4447}P_{44} - \lambda_{479}P_{47} \\
 0 &= \lambda_{4448}P_{44} - \lambda_{4824}P_{48} \\
 0 &= \lambda_{4449}P_{44} - \lambda_{4938}P_{49}
 \end{aligned}$$

Отбросим сорок девятое уравнение, так как оно вытекает как следствие из остальных, записав в место него нормировочное условие:

$$\sum_{i=1}^{49} p_i = 1,$$

Использованы параметры потока заявок λ_i (см. табл. 2), характерные для Республики Коми.

Таблица 2. Параметры потока заявок

λ_i	Значения	λ_i	Значения	λ_i	Значения	λ_i	Значения
λ_{12}	5	λ_{301}	3	λ_{1438}	1	λ_{3033}	4
λ_{19}	5	λ_{316}	3	λ_{1544}	2	λ_{3116}	5
λ_{21}	3	λ_{322}	3	λ_{1617}	3	λ_{3334}	2
λ_{23}	3	λ_{341}	1	λ_{1618}	4	λ_{3435}	4
λ_{24}	2	λ_{369}	2	λ_{1619}	2	λ_{3436}	4
λ_{25}	4	λ_{381}	1	λ_{1620}	3	λ_{3437}	3
λ_{26}	2	λ_{402}	1	λ_{1621}	2	λ_{3516}	4
λ_{27}	1	λ_{419}	1	λ_{1622}	1	λ_{3730}	2
λ_{28}	3	λ_{430}	2	λ_{1623}	2	λ_{3839}	2
λ_{59}	2	λ_{441}	4	λ_{1730}	2	λ_{3840}	1
λ_{91}	4	λ_{462}	2	λ_{1934}	1	λ_{3841}	1
λ_{116}	5	λ_{479}	1	λ_{2124}	1	λ_{3842}	1
λ_{122}	2	λ_{624}	1	λ_{2238}	1	λ_{3843}	2
λ_{124}	3	λ_{738}	1	λ_{2344}	1	λ_{3916}	1
λ_{130}	5	λ_{844}	3	λ_{2425}	2	λ_{4224}	1
λ_{134}	4	λ_{910}	4	λ_{2426}	2	λ_{4344}	1
λ_{138}	4	λ_{911}	3	λ_{2427}	2	λ_{4445}	4
λ_{144}	5	λ_{912}	3	λ_{2428}	1	λ_{4446}	3
λ_{161}	2	λ_{913}	1	λ_{2429}	2	λ_{4447}	3
λ_{182}	3	λ_{914}	1	λ_{2516}	2	λ_{4448}	2
λ_{209}	1	λ_{915}	3	λ_{2838}	1	λ_{4449}	1
λ_{241}	1	λ_{1016}	4	λ_{2944}	1	λ_{4516}	2
λ_{262}	2	λ_{1134}	2	λ_{3031}	5	λ_{4824}	1
λ_{279}	1	λ_{1324}	1	λ_{3032}	5	λ_{4938}	1

Решение системы линейных алгебраических уравнений относительно вероятностей $\{p\}$ также в общем случае возможно численными методами [5, 6], для чего была использована система MatLab и расчеты проведены методом Гаусса.

Полученные вероятности состояний отражены в табл. 3.

Таблица 3. Вероятности состояний СМО

P_i	Значения	P_i	Значения	P_i	Значения	P_i	Значения	P_i	Значения
P_1	0,0072	P_{11}	0,0223	P_{21}	0,0363	P_{31}	0,0093	P_{41}	0,0132
P_2	0,0156	P_{12}	0,0223	P_{22}	0,0182	P_{32}	0,0156	P_{42}	0,0132
P_3	0,0156	P_{13}	0,0149	P_{23}	0,0363	P_{33}	0,0187	P_{43}	0,0262
P_4	0,0156	P_{14}	0,0149	P_{24}	0,0143	P_{34}	0,0123	P_{44}	0,0129
P_5	0,0312	P_{15}	0,0223	P_{25}	0,0143	P_{35}	0,0123	P_{45}	0,0258
P_6	0,0312	P_{16}	0,0182	P_{26}	0,0143	P_{36}	0,0246	P_{46}	0,0193
P_7	0,0156	P_{17}	0,0272	P_{27}	0,0286	P_{37}	0,0184	P_{47}	0,0386
P_8	0,0156	P_{18}	0,0242	P_{28}	0,0143	P_{38}	0,0132	P_{48}	0,0258
P_9	0,0149	P_{19}	0,0363	P_{29}	0,0286	P_{39}	0,0262	P_{49}	0,0129
P_{10}	0,0149	P_{20}	0,0544	P_{30}	0,0093	P_{40}	0,0132		

Сумма всех вероятностей единична. Используя граф переходов (рис.1) и описание состояний (см. табл. 1) находим основные характеристики СМО (табл. 4), в которой тот или иной абонент будет находиться в свободном состоянии $S_{св}$, то есть выполнять свои служебные обязанности, в ожидании $S_{ож}$, или занят S_3 :

Таблица 4. Основные характеристики СМО

Должностное лицо	Логическое уравнение
Руководитель тушением пожара	$S_{св} = S_1 \cup S_2 \cup S_5 \cup S_6 \cup S_7 \cup S_8 \cup S_9 \cup S_{12} \cup S_{13} \cup S_{14} \cup S_{15} \cup S_{24} \cup S_{26} \cup S_{27} \cup S_{28} \cup S_{29} \cup S_{38} \cup S_{40} \cup S_{41} \cup S_{42} \cup S_{43} \cup S_{44} \cup S_{46} \cup S_{47} \cup S_{48} \cup S_{49}$ $S_{ож} = S_3 \cup S_4 \cup S_{10} \cup S_{11} \cup S_{25} \cup S_{39} \cup S_{45}$ $S_3 = S_{16} \cup S_{17} \cup S_{18} \cup S_{19} \cup S_{20} \cup S_{21} \cup S_{22} \cup S_{23} \cup S_{30} \cup S_{31} \cup S_{32} \cup S_{33} \cup S_{34} \cup S_{35} \cup S_{36} \cup S_{37}$
Начальник оперативного штаба пожаротушения	$S_{св} = S_1 \cup S_{30} \cup S_{33} \cup S_{34} \cup S_{37}$ $S_{ож} = S_{31} \cup S_{32} \cup S_{35} \cup S_{36}$ $S_3 = S_2 \cup S_3 \cup S_4 \cup S_5 \cup S_6 \cup S_7 \cup S_8 \cup S_9 \cup S_{10} \cup S_{11} \cup S_{12} \cup S_{13} \cup S_{14} \cup S_{15} \cup S_{16} \cup S_{17} \cup S_{18} \cup S_{19} \cup S_{20} \cup S_{21} \cup S_{22} \cup S_{23} \cup S_{24} \cup S_{25} \cup S_{26} \cup S_{27} \cup S_{28} \cup S_{29} \cup S_{38} \cup S_{39} \cup S_{40} \cup S_{41} \cup S_{42} \cup S_{43} \cup S_{44} \cup S_{45} \cup S_{46} \cup S_{47} \cup S_{48} \cup S_{49}$
Начальник первого боевого участка	$S_{св} = S_1 \cup S_9 \cup S_{10} \cup S_{11} \cup S_{13} \cup S_{14} \cup S_{15} \cup S_{16} \cup S_{19} \cup S_{20} \cup S_{21} \cup S_{22} \cup S_{23} \cup S_{24} \cup S_{25} \cup S_{27} \cup S_{28} \cup S_{29} \cup S_{34} \cup S_{35} \cup S_{36} \cup S_{38} \cup S_{39} \cup S_{41} \cup S_{42} \cup S_{43} \cup S_{44} \cup S_{47} \cup S_{48} \cup S_{49}$ $S_{ож} = S_{12} \cup S_{17} \cup S_{18} \cup S_{26} \cup S_{37} \cup S_{40} \cup S_{46}$ $S_3 = S_2 \cup S_3 \cup S_4 \cup S_5 \cup S_6 \cup S_7 \cup S_8 \cup S_{30} \cup S_{31} \cup S_{32} \cup S_{33}$
Начальник второго боевого участка	$S_{св} = S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4 \cup S_6 \cup S_7 \cup S_8 \cup S_{16} \cup S_{17} \cup S_{18} \cup S_{21} \cup S_{22} \cup S_{23} \cup S_{24} \cup S_{25} \cup S_{26} \cup S_{28} \cup S_{29} \cup S_{30} \cup S_{31} \cup S_{32} \cup S_{38} \cup S_{39} \cup S_{40} \cup S_{42} \cup S_{43} \cup S_{44} \cup S_{45} \cup S_{46} \cup S_{48} \cup S_{49}$ $S_{ож} = S_5 \cup S_{19} \cup S_{20} \cup S_{27} \cup S_{33} \cup S_{41} \cup S_{47}$ $S_3 = S_9 \cup S_{10} \cup S_{11} \cup S_{12} \cup S_{13} \cup S_{14} \cup S_{15} \cup S_{34} \cup S_{35} \cup S_{36} \cup S_{37}$
Начальник тыла	$S_{св} = S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4 \cup S_5 \cup S_6 \cup S_7 \cup S_8 \cup S_9 \cup S_{10} \cup S_{11} \cup S_{12} \cup S_{14} \cup S_{15} \cup S_{16} \cup S_{17} \cup S_{18} \cup S_{19} \cup S_{20} \cup S_{22} \cup S_{23} \cup S_{30} \cup S_{31} \cup S_{32} \cup S_{33} \cup S_{34} \cup S_{35} \cup S_{36} \cup S_{37} \cup S_{38} \cup S_{39} \cup S_{40} \cup S_{41} \cup S_{43} \cup S_{44} \cup S_{45} \cup S_{46} \cup S_{47} \cup S_{49}$ $S_{ож} = S_6 \cup S_{13} \cup S_{21} \cup S_{42} \cup S_{48}$ $S_3 = S_{24} \cup S_{25} \cup S_{26} \cup S_{27} \cup S_{28} \cup S_{29}$
Представитель объекта	$S_{св} = S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4 \cup S_5 \cup S_6 \cup S_7 \cup S_8 \cup S_9 \cup S_{10} \cup S_{11} \cup S_{12} \cup S_{13} \cup S_{15} \cup S_{16} \cup S_{17} \cup S_{18} \cup S_{19} \cup S_{20} \cup S_{21} \cup S_{23} \cup S_{24} \cup S_{25} \cup S_{26} \cup S_{27} \cup S_{29} \cup S_{30} \cup S_{31} \cup S_{32} \cup S_{33} \cup S_{34} \cup S_{35} \cup S_{36} \cup S_{37} \cup S_{44} \cup S_{45} \cup S_{46} \cup S_{47} \cup S_{48}$ $S_{ож} = S_7 \cup S_{14} \cup S_{22} \cup S_{28} \cup S_{49}$ $S_3 = S_{38} \cup S_{39} \cup S_{40} \cup S_{41} \cup S_{42} \cup S_{43}$
Центр управления силами	$S_{св} = S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4 \cup S_5 \cup S_6 \cup S_7 \cup S_9 \cup S_{10} \cup S_{11} \cup S_{12} \cup S_{13} \cup S_{14} \cup S_{16} \cup S_{17} \cup S_{18} \cup S_{19} \cup S_{20} \cup S_{21} \cup S_{22} \cup S_{24} \cup S_{25} \cup S_{26} \cup S_{27} \cup S_{28} \cup S_{30} \cup S_{31} \cup S_{32} \cup S_{33} \cup S_{34} \cup S_{35} \cup S_{36} \cup S_{37} \cup S_{38} \cup S_{39} \cup S_{40} \cup S_{41} \cup S_{42}$ $S_{ож} = S_8 \cup S_{15} \cup S_{23} \cup S_{29} \cup S_{43}$ $S_3 = S_{44} \cup S_{45} \cup S_{46} \cup S_{47} \cup S_{48} \cup S_{49}$

Подставим значения вероятности P_i для каждого состояния из табл. 3 и получим количественные значения основных показателей оперативной работы (табл. 5).

Таблица 5. Вероятностные значения состояний

Должностное лицо	Абонент свободен	Абонент ожидает	Абонент занят
Руководитель тушением пожара	$P_{св} = 0,4943$	$P_{ож} = 0,1347$	$P_3 = 0,3716$
Начальник оперативного штаба пожаротушения	$P_{св} = 0,0659$	$P_{ож} = 0,0618$	$P_3 = 0,8729$
Начальник первого боевого участка	$P_{св} = 0,6684$	$P_{ож} = 0,1389$	$P_3 = 0,1933$
Начальник второго боевого участка	$P_{св} = 0,5855$	$P_{ож} = 0,221$	$P_3 = 0,1941$
Начальник тыла	$P_{св} = 0,7648$	$P_{ож} = 0,1214$	$P_3 = 0,1144$
Представитель объекта	$P_{св} = 0,8195$	$P_{ож} = 0,0759$	$P_3 = 0,1052$
Центр управления силами	$P_{св} = 0,7363$	$P_{ож} = 0,129$	$P_3 = 0,1353$

В данном случае 87,3 % времени НШ будет заниматься переговорами, что не благоприятно сказывается на тушении пожара, и по 6,5 % и 6,2 % времени соответственно в свободном состоянии и ожидании того или иного абонента, с которым ему необходимо связаться. РТП 37 % своего времени будет находиться в занятом состоянии, почти 50 % в свободном и 13 % в ожидании. Остальные абоненты основную часть своего времени будут находиться в свободном режиме, то есть выполнять свои служебные обязанности.

Проанализируем, в каких состояниях СМО будет находиться в ожидании:

$$S_{ож} = S_3 \cup S_4 \cup S_5 \cup S_6 \cup S_7 \cup S_8 \cup S_{10} \cup S_{11} \cup S_{12} \cup S_{13} \cup S_{14} \cup S_{15} \cup S_{17} \cup S_{18} \cup S_{19} \cup S_{20} \cup S_{21} \cup S_{22} \cup S_{23} \cup S_{25} \cup S_{26} \cup S_{27} \cup S_{28} \cup S_{29} \cup S_{31} \cup S_{32} \cup S_{33} \cup S_{35} \cup S_{36} \cup S_{37} \cup S_{39} \cup S_{40} \cup S_{41} \cup S_{42} \cup S_{43} \cup S_{45} \cup S_{46} \cup S_{47} \cup S_{48} \cup S_{49}.$$

Вероятность того, что система будет находиться в ожидании: $P_{ож} = 0,8827$.

В данном случае мы выяснили, что данная СМО находится в критическом состоянии, так как НШ 87,3 % времени будет занят переговорами, и 88,27 % изучаемая система будет находиться в режиме ожидания. Поэтому необходимо НШ придать помощника или автоматизировать его работу, например, для проведения необходимых расчетов, по площади пожаров и необходимых на его ликвидацию сил и средств, использовать ПЭВМ. Также в ПЭВМ должны быть отражены оперативный план пожаротушения, описание объекта, планы объекта и схемы возможного пожара, рекомендации участникам тушения пожара с учетом особенности объекта на котором произошел пожар, расписание выездов и т.д. Кроме того, необходимо добавить дополнительный канал связи (резервный канал для радиопереговоров, использование телефонной связи и т.п.).

Выводы

При изучении пожаров, их исследовании, данная методика позволяет выявить состояния, в которых система находилась, и на основе полученных результатов сделать выводы, например, дать оценку системе или оценить работу РТП, НШ и других участников тушения пожара, и выработать предложения для оптимизации их работы.

При использовании данной методики можно представить модели СМО, когда создаются три и более боевых участка, секторы, контрольно-пропускные пункты ГДЗС и т.д. Данную методику можно применять: а) для других структур оперативного реагирования, например при ликвидации ЧС; б) в учебном процессе, при проведении деловых игр или при проведении занятий в системе школы повышения оперативного мастерства, например, для задания потока поступающих вводных и ограничения времени на их выполнение.

Литература

1. Приказ МВД России от 5 июля 1995 г. № 257 «Об утверждении нормативных правовых актов в области организации деятельности Государственной противопожарной службы».
2. Приказ от 6 мая 2000 г. № 477 «О внесении изменений и дополнений в боевой устав пожарной охраны », утвержденный приказом МВД России от 5 июля 1995 г. № 257.
3. Бречалов С. Л. Моделирование процессов управления боевыми действиями пожарной охраны на основе теории массового обслуживания // Автореф. канд. техн. наук.– СПб., 2005.
4. Приказ МВД России от 30 июня 2000 г. № 700 «Об утверждении Наставления по службе связи Государственной противопожарной службы Министерства внутренних дел Российской Федерации».
5. Демидович Б. П., Марон И. А., Шувалова Э. З. Численные методы анализа: Учебное пособие / Под ред. Б. П. Демидовича. – СПб., 2008. – 400 с.
6. Дектяренко Г. А., Мазовер С. И., Пехенько И. В. Высшая математика и ее использование в математическом моделировании. Кн. 1. Линейная алгебра и аналитическая геометрия в математическом моделировании. – СПб., 2001. – 185 с.