

# **ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

---

## **Выпуск 13**



**Харьков – 2003**

*В.М. Стрелец, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент, АПБУ,  
П.Ю. Бородич, адъюнкт, АПБУ*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОГО ЭТАПА ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА СТАНЦИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА**

Показана целесообразность исследования процесса пожаротушения на станциях метрополитена с помощью имитационного моделирования, которое предлагается выполнять с помощью аппарата Е - сетей. Приведены модель начального этапа тушения пожара и спасения людей на станциях метрополитена и рекомендации по организации этих работ.

**Постановка проблемы.** Станции метрополитена являются одними из самых сложных в оперативно-тактическом отношении объектов. Тушение развившихся пожаров на них сопряжено с большим количеством организационно-технических мероприятий, связанных со снятием напряжения и допуском подразделений на объект, дымоудалением из всех сооружений. Боевые действия по тушению осложняются значительным удалением подземных объектов от поверхности, трудностями в организации связи, задымлением, возможным выходом из строя кабельных коммуникаций, освещения, тоннельной вентиляции, эскалаторов, устройств обеспечения безопасности движения поездов и т.д.

Действия по тушению пожаров на станциях метрополитенов регламентируются соответствующими нормативными документами [1], в которых наряду с действиями пожарных рассматриваются также вопросы их взаимодействия с администрацией объекта. Так, для руководства аварийно-спасательными работами создается штаб во главе с одним из руководителей метрополитена, куда включаются представители пожарно-спасательной службы. Допуск подразделений на станции метрополитена производится после снятия напряжения со всех находящихся на ней электроустановок и предъявления письменного подтверждения об этом.

Таким образом, повышение эффективности действий пожарно-спасательных подразделений, персонала метрополитена и создаваемых органов управления пожаротушения является актуальной проблемой. Ее решение требует анализа большого количества взаимосвязанных промежуточных работ, обеспечивающих тушение, эвакуацию и спасение (при необходимости) пострадавших.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В [2,3] показа-

но, что совокупность этих действий представляет сложную динамическую управляемую систему, исследование которой целесообразно производить с помощью соответствующей имитационной модели.

Это обусловлено тем, что организация даже одного полномасштабного опытного пожарно-технического учения в условиях действующего метрополитена сопряжена со значительными сложностями. Практика проведения таких учений показывает, что они проводятся при значительном упрощении обстановки и дают достоверные данные лишь по отдельным видам боевой работы [4]. Полные данные о временных характеристиках функционирования динамической системы могут быть получены на основании большого числа экспериментов при различных исходных данных. Главным преимуществом имитационных моделей является возможность многократного воспроизведения отдельных реализаций процесса с последующей статистической обработкой получаемого материала.

В работах [5,6] для анализа деятельности личного состава пожарно-аварийных подразделений используются сетевые модели. Однако в рассматриваемом случае их применить нельзя, поскольку присутствуют замкнутые циклы (постоянная смена звеньев газодымозащитной службы (ГДЗС)), тупики (штаб пожаротушения работает, а руководство метрополитена может прибывать вплоть до полной ликвидации, хотя оно включается в работу штаба), условные переходы (для снятия напряжения с контактного рельса должна быть подана заявка, знание сотрудниками метрополитена инструкции по действиям на случай пожара).

Подход с использованием сетей Петри в классическом виде, приведенный в [3], опирается на представление о том, что каждая операция является результатом выполнения конкретного ряда условий, каждое из которых должно быть обязательно выполнено. В свою очередь эта операция порождает ряд новых условий и так далее. В то же время, в процессе тушения пожара на станции метрополитена требуемые операции реализуются как при выполнении полного набора условий, так и при невыполнении или неполном выполнении некоторых из них (все эскалаторы должны быть включены на подъем для того, чтобы ускорить скорость эвакуации людей, однако даже если они будут отключены, люди смогут эвакуироваться).

Отмеченные недостатки могут быть устранены с помощью аппарата Е-сетей [7], который состоит из четырех элементов: множества позиций  $P$ , множество переходов  $T$ , входных функций  $I$ , и выходных функций  $O$ . Входная функция  $I$  отображает переход  $t_j$  в множество позиций  $I(t_j)$ , называемых входными позициями перехода. Выходная функция  $O$  отображает переход  $t_j$  в множество позиций  $O(t_j)$ , называемых выходными позициями перехода. Переход к использованию ап-

парата E-сетей может быть произведен в связи с тем, что ранее нами были получены [4] результаты, которые позволяют оценить множество переходов  $t$ , описывая конкретный переход  $t_j$  с помощью  $\beta$ -распределения.

Исходя из этого, были сформулированы следующие цели:

- разработать, опираясь на использование аппарата E-сетей и полученные распределения временных характеристик выполнения отдельных операций, имитационную модель начального этапа работ пожаротушения на станциях метрополитена;
- оценить возможность создания расширенной имитационной модели спасания пострадавших и тушения пожара в метрополитене;
- определить пути использования разработанной имитационной модели для разработки и обоснования практических рекомендаций, реализация которых должна повысить эффективность боевой работы личного состава пожарно-спасательных подразделений.

***Изложение основного материала.*** Имитационная модель начального этапа работ по спасанию пострадавших и тушению пожара на станциях метрополитена с использованием аппарата E-сетей представлена на рисунке 1. Начальным является событие «Пожар обнаружен», заканчивается модель событием «Оказание медицинской помощи пострадавшим, спасенных в вестибюле станции и на эскалаторе». Вся модель представляет собой ряд последовательно-параллельных событий и условий. Содержание некоторых из них приведено в табл. 1. Условно модель разбита на четыре основных взаимосвязанных блока, которые можно характеризовать следующим образом:

- эвакуация и спасание пассажиров, в который входят, например, такие события как: машинист сообщает пассажирам по громкоговорящей связи о их дальнейших действиях  $t_4$ , эвакуация пассажиров  $t_{11}$ , спасание людей в вестибюле станции и на эскалаторе  $t_{21}$ , вынос пострадавших на свежий воздух  $t_{23}$ , оказание медицинской помощи пострадавшим  $t_{26}$ . Условиями для их выполнения будут: знание машинистом инструкции по действиям на случай пожара  $p_4$ , отсутствие большой температуры  $p_7$  и большого задымления  $p_8$  на путях эвакуации, информация о том, что остались неэвакуированные пассажиры  $p_{43}$ , а в аппаратах достаточное количество воздуха  $p_{47}$ ;

- работа подразделений пожарно-спасательной службы (вызов  $t_7$  пожарно-спасательной службы, прибытие пожарно-спасательной службы  $t_{17}$ , включение пожарных в аппараты на сжатом воздухе  $t_{19}$ , движение звена ГДЗС  $t_{20}$  к месту боевой работы, спасание людей в вестибюле станции и на эскалаторе  $t_{21}$ , вынос пострадавших на свежий воздух  $t_{23}$ , оказание медицинской помощи пострадавшим  $t_{26}$ ...). Условиями для выполнения событий будут: инструкция действий на слу-

чай пожара  $p_{13}$ , быстрый сбор и следование  $p_{21}$  к месту пожара, проведение боевой проверки  $p_{29}$ , организация поста безопасности  $p_{32}$ , достаточное количество воздуха  $p_{33}$  в аппаратах, информации о том, что пожарные нашли пострадавших  $p_{48}$ ...

- создание штаба пожаротушения требует оповещения руководящего состава метрополитена  $t_6$ , вызова пожарно-спасательной службы  $t_7$ , горноспасателей  $t_8$ , технической службы метрополитена  $t_9$ , прибытия пожарно-спасательной службы  $t_{17}$ ,... Эти события не могут быть выполнены без наличия инструкции по действиям на случай пожара  $p_{13}$ , поступления команды от руководителя  $p_{14}$ , прибытия всех служб  $p_{24}$ ,  $p_{25}$ ,  $p_{26}$ ...

- тушение пожара сотрудниками метрополитена включает тушение машинистом пожара огнетушителем из кабины  $t_{12}$ , дежурными по станции пожара порошковыми огнетушителями  $t_{13}$ , прокладка  $t_{14}$  рукавов от пожарного крана (ПК), подача ствола  $t_{15}$  от ПК к очагу пожара сотрудниками метрополитена, команда  $t_{16}$  персоналу покинуть станцию. Условиями для выполнения этих событий будут: наличие рабочих огнетушителей и умение сотрудников пользоваться ими  $p_5$ ,  $p_6$ ,  $p_{15}$ ,  $p_{16}$ , информация о том, что пожар огнетушителями не потушен  $p_{17}$ ,  $p_{19}$ , умение работников метрополитена прокладывать рукава и соединять пожарные головки  $p_{35}$ ,  $p_{36}$ ...

Используя предлагаемую модель, рассчитывались как времена выполнения отдельных операций, так и время реализации комплекса действий. Достоверность полученных результатов была проверена во время учений, которые проходили в городе Харькове на станции метро «Южный вокзал». Так, расчетное время прибытия первых пожарных подразделений составляет 10 – 25 минут, а во время учений первые пожарные подразделения прибыли через 15 минут. Первое звено ГДЗС по расчетным результатам входит в задымленное помещение через 2,7-5,3 минут, а на учениях оно вошло через 3,2 минуты после прибытия пожарных автомобилей.

Кроме этого, полученные результаты уже сейчас могут использоваться для обоснования практических рекомендаций. Например, учитывая то, что система вентиляции метрополитена на учениях реально не справилась с удалением дыма со станции в туннель и весь его поток распространялся наружу вдоль станции на эскалаторы, а последний пассажир встал на ступеньку эскалатора через две минуты, можно ожидать, что основной работой подразделений пожарно-аварийной службы, которые первыми придут на пожар, будет спасение пострадавших. Предполагается, что они будут находиться без сознания рядом с эскалатором. Это позволяет сделать заключение о том, что первые подразделения будут заняты относительно непродолжительной (порядка 5-12 минут) работой, связанной с выносом по-

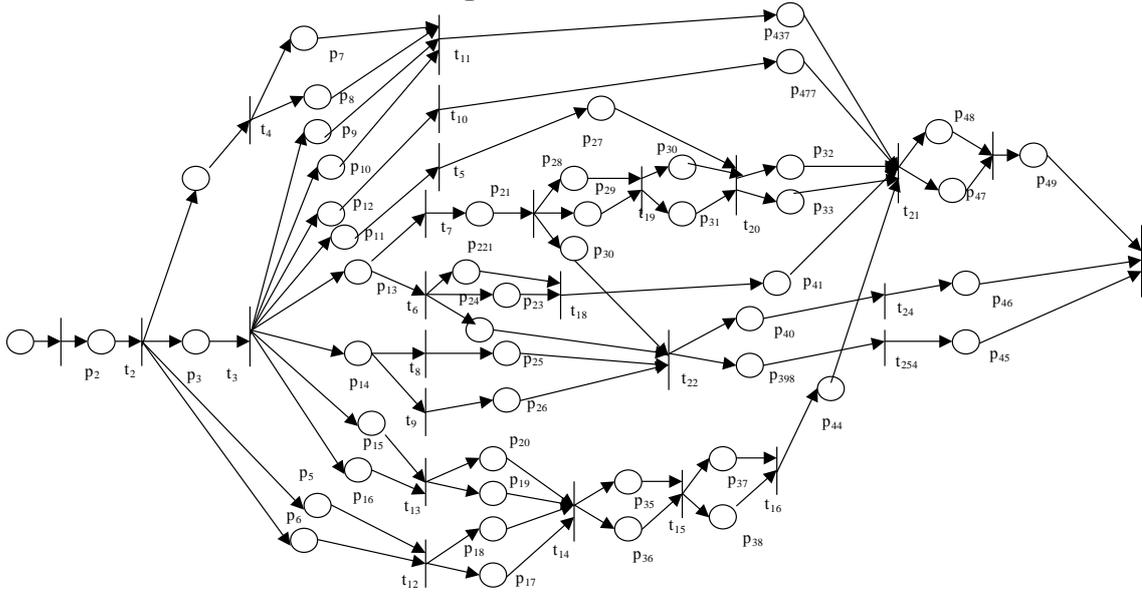
страдавших.

Таблица 1 – Содержание событий и условий

$t_j$	Соответствующее событие	$p_i$	Соответствующее условие
$t_1$	пожар обнаружен	$p_1$	возникновение пожара
$t_2$	сообщение машинисту о пожаре	$p_2$	наличие связи
$t_3$	машинист передает сообщение диспетчеру	$p_4$	знание машинистом инструкции при пожаре
$t_4$	машинист сообщает пассажирам о их действиях	$p_5$	наличие рабочих огнетушителей
$t_5$	снятие напряжения	$p_6$	умение пользоваться огнетуш
$t_6$	оповещение руководящего состава метрополитена	$p_7$	отсутствие большой температуры
$t_7$	вызов ПО	$p_8$	отсутствие задымления
$t_8$	вызов горноспасателей	$p_9$	необходимо помочь людям
$t_9$	вызов технической службы метрополитена	$p_9$	команда от руководителя
$t_{10}$	команда машинистам других поездов останавливаться	$p_{17}$	пожар машинистом не потушен
$t_{11}$	эвакуация пассажиров	$p_{18}$	окончание заряда в огнетуш
$t_{12}$	тушение машинистом пожара	$p_{19}$	пожар не потушен
$t_{13}$	тушение дежурными пожара огнетушителями	$p_{21}$	быстрый сбор и следование к месту пожара
$t_{14}$	прокладка рукавов от ПК	$p_{22}$	исправность вентиляции
$t_{15}$	подача ствола от ПК	$p_{27}$	выдача допуска
$t_{16}$	команда дежурному персоналу покинуть станцию	$p_{28}$	одевание аппаратов по прибытию
$t_{17}$	прибытие ПО	$p_{29}$	проведение боевой проверки
$t_{18}$	включение аварийного режима вентиляции	$p_{33}$	достаточное количество воздуха в аппаратах
$t_{19}$	включение работников ПО в АСВ-2	$p_{34}$	подготовленность личного состава ПО
$t_{20}$	вход звена ГДЗС	$p_{36}$	умение работать со стволом
$t_{21}$	спасание людей в вестибюле станции и на эскалаторе	$p_{37}$	большое задымление
$t_{22}$	создание штаба пожаротушения	$p_{38}$	большая температура
$t_{23}$	вынос пострадавших	$p_{41}$	снижение задымления
$t_{24}$	вызов скорой помощи	$p_{43}$	не эвакуированы пассажиры
$t_{25}$	вызов ГАИ	$p_{47}$	в аппаратаххватило воздуха
$t_{26}$	оказание медицинской помощи пострадавшим	$p_{48}$	пожарные нашли пострадавших

Несмотря на то, что такая работа относится к числу очень тяжелых, можно сделать вывод, учитывая результаты анализа легочной вентиляции, приведенные в [8], о том, что личный состав этих подразделений может быть оснащен аппаратами на сжатом воздухе. То есть, к выполнению всего комплекса работ можно приступать сразу, не дожидаясь прибытия специализированных подразделений, оснащенных регенера-

ТИВНЫМИ ДЫХАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ.



**Рисунок 1 - Имитационная модель начального этапа работ по спасению пострадавших и тушению пожара на станциях метрополитена**

***Выводы:***

- разработана имитационная модель начального этапа пожаротушения на станциях метрополитена, отличительной особенностью которой является опора на использование аппарата Е-сетей и представление исходных данных временных характеристик выполнения отдельных операций боевой работы с помощью  $\beta$ -распределения;
- сходимость результатов имитационного моделирования с результатами натурного эксперимента, полученными во время учений на станции метро «Южный вокзал», позволяет перейти к созданию расширенной имитационной модели, которая будет оканчиваться событиями «Люди спасены» и «Пожар ликвидирован»;
- показана возможность использования на начальном этапе работ по тушению пожара на станции метрополитена личного состава пожарно-аварийных служб, оснащенного аппаратами на сжатом воздухе;
- перспективным направлением использования расширенной имитационной модели может быть проведение многофакторного эксперимента с целью комплексной оценки используемого пожарно-технического вооружения, уровня подготовленности личного состава, слаженности в действиях различных и др. на эффективность пожаротушения на станции метрополитена.

**ЛИТЕРАТУРА**

1 Инструкция о порядке взаимодействия Государственной пожарной охраны и ведомственной военизированной охраны на железнодорожном транспорте по организации пожарного надзора, тушения пожара и ликвидации последствий аварий на объектах метрополитенов. – НАПБ Б. 05.014-96.- 4 с.

2 В.М.Стрелец Методы эргономической оценки деятельности личного состава подразделений пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Спец. вып.. - Харьков: ХИПБ, 1999. – С.60 –80.

3 В.Ф.Бондарев, В.В.Семенов. Имитационное моделирование боевых действий по тушению пожаров на электроподстанциях метрополитена // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО, 1989. – С. 44-59.

4 П.А.Ковальов, П.Ю. Бородич, В.В.Стрелець, С.С.Чубар Розробка пропозицій щодо вдосконалення аварійно-рятувальних робіт при надзвичайних ситуаціях в метрополітені // Право і безпека: Науковий журнал – 2002. – Вип..1. – С.156-161.

5 В.М.Стрелец, В.Б.Грицай Статистический метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения // Право і безпека: Науковий журнал – 2002. – Вип..1. –С.165-171.

6 П.А.Ковалев, В.Н.Чучковский Моделирование деятельности личного состава газодымозащитной службы при работе со специальной техникой // Актуальные проблемы философии, науки и современных технологий X, XI Вестник ХДУ N 388 - X, ХДУ - ХИПБ, 1997 С. 268-272

7 А.И.Слепцов, А.А.Юрасов Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств. – Киев: «Техника», 1986. – 162 с.

8 В.М.Стрелец, В.П.Мамон, В.В.Стрелец Особенности применения пожарно-технических средств при проведении спасательных работ в метрополитене // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. Сб. – Киев: «Техника», 2001.- С. 306-311.

Статья поступила в редакцию 17.04.2003 г.