МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАТИВНЫХ ГРУПП ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ГАРНИЗОНА

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-1-19-27

Manuscript received 03 September 2020

Accepted 02 November 2020

Рожкова Наталия Владимировна,
Департамент оперативного управления МЧС России,
Москва, Россия, nvr9@mail.ru

Страхолис Андрей Андреевич,
Академия государственной противопожарной службы
МЧС России, Москва, Россия, astraholis@rambler.ru

Ключевые слова: эффективность управления, модель, квалификация руководителя, распределение сил и средств, ликвидация чрезвычайной ситуации, руководитель работ по ликвидации ЧС, сетевые модели

Поддержка принятия управленческих решений при ликвидации чрезвычайных ситуаций (тушению пожара), в неопределённых условиях его возникновения и неопределённости его развития необходима для организации оптимального распределения применяемых сил и средств оперативных подразделений, привлечённых к тушению пожара, так и знаний руководителя. Процесс наших исследований ограничивается только случаем возникновения пожара. Учитывая тот факт, что данные в карточке тушения пожара не всегда совпадают с состоянием объекта, на котором возник пожар и при этом непредсказуемость направления распространения огня, то лицо принимающее решение в данной ситуации организует работу по получению достоверной информации. Эти особенности допускают считать объект, на котором возник пожар, как сложную систему. В данном случае основная сложность информационно-аналитической поддержки оперативных групп, как субъекта управления, заключается в том, что на первом этапе лицо принимающее решение в оперативной группе, не имея полной достоверной информации организует её уточнение. При правильной организации им работ, оперативная группа, обеспечивает максимальную эффективность использования подразделений ТО МЧС России, при решении поставленных перед ними боевых задач. При этом сбор ею информации о возникшей ЧС может происходить уже при получении извещения о её возникновении, а также в пути следования оперативных подразделений в заданный район. Рассмотрены вопросы, определяющие отработку документов в разный период оперативной обстановки, выделено отдельно действия лица, принимающего решение в оперативной группе во время тушения пожара. В рассматриваемой математической модели в которой моделируется переход системы из состояния "возникновение пожара" к состоянию "пожар потушен" используются свойства непрерывного марковского процесса. Решением системы дифференциальных уравнений Колмогорова определена вероятность, характеризующая компетенцию лица, принимающего решение в оперативной группе.

Информация об авторах:

Рожкова Наталия Владимировна, магистр, Департамент оперативного управления МЧС России, Москва, Россия
Страхолис Андрей Андреевич, профессор кафедры, доцент, д.т.н., Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

Для цитирования:

Рожкова Н.В., Страхолис А.А. Математическая модель информационной поддержки оперативных групп пожарно-спасательного гарнизона // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №1. С. 19-27.

For citation:

Rozhkova N.V., Strakhols A.A. (2021) Mathematical model of information support for operational groups of the fire and rescue garrison. T-Comm, vol. 15, no.1, pp. 19-27. (in Russian)

Введение

Актуальность данной статьи определяется тем, что в ней, учитывая человеческий фактор, оценивается эффективность оперативного управления подчиненными силами и средствами, привлекаемыми к ликвидации ЧС, с учетом рассмотрения вариантов решения руководителя работ по ликвидации ЧС (РРполЧС), ответственного за управление и принимающего определенные решения. Поскольку именно решение является основой деятельности человека [3] «...это: проведение расчетов и подготовка предложений для принятия решения руководителем работ по ликвидации ЧС на применение сил и средств РСЧС для ликвидации ЧС; осуществление управления подчиненными силами и средствами, привлекаемыми к ликвидации ЧС в соответствии с решениями руководителя работ по ликвидации ЧС; координация действий сил и средств функциональных и территориальных подсистем РСЧС, привлекаемых к ликвидации ЧС и др.».

С помощью оптимизационных моделей можно эффективнее определять распределение сил и средств, привлекаемых к ликвидации ЧС, рассчитывать оптимальные критерии параметров объекта моделирования, и тем самым обеспечить оптимальный режим управления процессом ликвидации ЧС.

С целью обеспечения принятия эффективных управленческих решений в отношении информационной поддержки ОГ применяются управленческие модели.

Среди разнообразия управляющих моделей предпочтение отдается статистическому моделированию. В этом случае искомые величины представляют вероятностными характеристиками аналогичного случайного явления, которое моделируется, после чего нужные характеристики приближенно определяют путем статистической обработки модели [8]. Таким образом, формируется причинно-следственная модель, которая объясняет и прогнозирует поведения зоны ЧС (пожара) и на этих данных РРполЧС принимает решение на перераспределение сил и средств оперативных подразделений между боевыми участками.

При организации ликвидации особенно крупных ЧС (пожаров) необходимо учитывать множество факторов. Это обусловлено отсутствием полной достоверной информации о месте ЧС (пожара), на основе которой должно приниматься управленческое решение по ее ликвидации. Основная сложность процесса информационной поддержки оперативных групп пожарно-спасательного гарнизона, осуществляющих управления подчиненными силами и средствами, привлекаемыми к ликвидации ЧС (тушению пожара), определяется тем, что из-за динамически изменяющейся обстановки на месте ЧС, необходимо постоянно вносить коррекцию в отдаваемые им распоряжения, вносить изменения в потребности сил и средств.

Реально во время ликвидации ЧС между РРполЧС и оперативным дежурным (диспетчером) обмен сообщениями осуществляется на вербальном уровне. Такой процесс информационной поддержки ОГ трудно поддается математической формализации. В этом случае процесс информационной поддержки ОГ осуществляется на основе анализа альтернативных данных, которые рассматриваются как математическое решение оптимизационной задачи.

На основании анализа динамически развивающейся обстановки на месте ЧС (пожара) и влияния её на окружающее пространство, необходимо любую ЧС (любой пожар) рассматривать как **сложную систему**, которая характеризуется своей динамичностью. В этих условиях РРполЧС нуждается в своевременном получении достоверной, динамически изменяющейся информации о ходе изменения обстановки в районе пожара. В этом случае искусство РРполЧС заключается в правильном выборе модели информационной поддержки оперативных групп пожарно-спасательного гарнизона (далее по тексту – ОГ), решающих следующие задачи [2] «...проведение оперативных действий на динамично изменяющуюся внешнюю среду, многообразие имеющихся ресурсов, а также специфические особенности места ЧС (пожара)».

Проведённые нами исследования в области управления распределения сил и средств для аналогичных случаев показали, что большинство разработанных методов, предусматривающие формализацию таких объектов, в основном основываются на применении числовых данных. Фактически не учитываются слабо формализуемая информация, которая характеризует особенности объекта, а также индивидуальные особенности применяемых в этом случае сил и средств одного вида.

1. Принцип моделирования процесса информационной поддержки оперативных групп пожарно-спасательного гарнизона

Рассматривая различные системы информационной поддержки ОГ пришли к выводу, что при управлении подчиненными силами и средствами, привлекаемыми к ликвидации ЧС (тушению пожара), необходимо выбрать такую систему, которая в полной мере описывала бы особенности развития обстановки на месте пожара. Далее используем термин «пожар». Однако дальнейшие рассуждения справедливы к процессу ликвидации любой ЧС.

Фактически развитие любого пожара можно охарактеризовать такими свойствами, как: непредсказуемость направления и масштабов его развития; привлечение для его ликвидации сил и средств различных ведомств; обеспечение максимальной эффективности спасения людей на месте пожара; большой обмен информацией в вербальном виде и др.

С учётом этих свойств принятая система должна быстро адаптироваться к сложившимся обстоятельствам. Эта задача успешно решается при использовании принципа системного подхода в основе которого закладывается свойства сложной системы. Особая ценность такого подхода заключается в том, что в данном случае обстановку на месте пожара можно разделить на отдельные составляющие, исследовать внутренние и внешние связи между ними, что обеспечивает выбор оптимального решения по планированию количества сил и средств для его тушения и распределение их между боевыми участками.

Обстановка на месте пожара динамически развивается. Она довольно точно описывается свойствами сложной системы. Это позволяет её анализировать как отдельные элементы и подсистемы. Их анализ осуществляется обособленно, но с учётом существующих между ними внутренних и внешних связей, которые взаимно изменяют состояние друг

друга. Поэтому обстановку на месте пожара необходимо рассматривать в динамике, что позволяет адекватно описывать ее и процессы, происходящие на месте пожара, а также планировать и прогнозировать его развитие.

Из всего разнообразия формальных методов системного подхода, которые можно применить для анализа состояния объекта, на которых возникает пожар, можно сделать вывод, что для решения задач его моделирования целесообразно применить методологию моделирования IDEF0 (Integration Definition Metodology) [4, 6]. Эта методология моделирования позволяет в наглядном виде провести анализ развивающейся обстановки на месте пожара. Вначале графически рассматривается диаграмма верхнего уровня, которая обеспечивает наиболее общее описание объекта моделирования, то есть развития пожара (рис. 1). Для определения основных этапов планирования информационной поддержки ОГ производится декомпозиция контекстной диаграммы верхнего уровня, которая описывает действия при возникновении пожара (рис. 2). Следующая диаграмма (рис. 3) описывает непосредственно действия лица, принимающего решение при тушении пожара.

Общее описание объекта моделирования отражено диаграммой верхнего уровня. Основная задача представляется единственным блоком, как А-0. Связь основной задачи со входным информационным потоком и выдача результатов её решения обозначены стрелками. Функциональная модель информационной поддержки ОГ при перераспределении сил и средств на пожаре представлена на рис. 1.

В функциональной модели (рис. 1) рассматривается план распределения сил и средств оперативных подразделений (ОП), участвующих в тушении пожара. В зависимости от прогнозируемой складывающейся обстановки осуществляется их распределения и выдаются рекомендации по их перераспределению. На результат выработки управленческих решений оказывает семантические ограничения состояние объекта, на котором возник пожар и по обратной связи обеспечиваются доклады о результатах выполняемой задачи.

Руководитель работ по ликвидации ЧС (РРпоЛЧС), на основании исходных данных об имеющихся силах и средствах, с учётом полученных докладов с места пожара и данных системы поддержки принятия решений (СППР) (например, ПАК «АРГО»), на основании своего опыта выдаёт рекоменда-

ции по изменению плана управления силами и средствами, привлекаемыми к тушению пожара.

На рисунке 2 представлена декомпозиция диаграммы верхнего уровня А-0.

Если на определённой территории имеются потенциально-опасные объекты, то должны предварительно разрабатываться планы на случай возникновения на них ЧС (пожаров) [1]. При этом осуществляется анализ объекта, на котором возможно возникновение пожара, различной сложности, и в ходе его развития прогнозируется возникновение нештатных ситуаций. На этой основе осуществляется предварительное планирование привлечения сил и средств и разработка метода по тушению пожара. В зависимости от должностных обязанностей руководителей в пожарно-спасательном гарнизоне (ПСГ) обеспечивается предварительная отработка документов по организации тушения пожара, перечень которых приведен в таблице 1.

Таблица 1

Перечень документов, обрабатываемых в пожарно-спасательном гарнизоне

№ п/п	Должностные лица гарнизона	Обрабатываемые документы по организации тушения пожара
1	Начальник территориального пожарно-спасательного гарнизона	Расписание выезда в городе федерального значения План применения оперативных подразделений (ОП) Строевая записка территориального пожарно-спасательного гарнизона
2	Начальник местного пожарно-спасательного гарнизона	Расписании выезда на территории муниципального образования, записки местного гарнизона
3	Начальник подразделения пожарно-спасательного гарнизона совместно с руководителями организаций, в ведении которых располагается потенциально опасный объект (ПОО)	План тушения пожара (ПТП) Карточка тушения пожара (КТП)

Рис. 1. Функциональная модель информационной поддержки ОГ при перераспределении сил и средств для ликвидации ЧС

Рис. 2. Декомпозиция диаграммы верхнего уровня поддержки принятия решений, определяющая управление перераспределением сил и средств, привлеченных к ликвидации ЧС

В результате решения задачи в первом блоке вырабатываются технологические ограничения, которые с учетом имеющихся сил и средств оказывают существенное влияние на разработку плана распределения сил и средств, в случае пожара. Если в ходе тушения пожара разработанный план не обеспечивает выполнение поставленной задачи, то по докладам об особенностях пожара производится его корректировка.

Второй этап рассматривается при возникновении пожара.

При прибытии ОГ к месту пожара лицо принимающее решение (ЛПР) в ОГ обеспечивает его разведку. Обнаруживает, что реальная обстановка в месте пожара не соответствует КТП. С учетом формализованных технологических ограничений и сведений о состоянии объекта, ЛПР приступает к корректировке плана перераспределения сил и средств ОП, и он вводится в действие.

На третьем этапе по результатам обмена информацией между ЛПР в ОГ и оперативным дежурным (диспетчером) о ходе тушения пожара проводится мониторинг исполнения уже скорректированного ПТП. В ходе мониторинга осуществляется постоянный контроль за ходом выполнения боевой задачи по тушению пожара и в случае необходимости в уже скорректированный ПТП вносятся дополнительные изменения по перераспределению сил и средств между боевыми участками.

При возникновении нештатной ситуации к выполнению поставленной задачи привлекаются дополнительные силы и средства и удлиняется время, отводимое на тушение пожара.

В результате такого распределения проверяется степень подготовленности ОП к тушению пожара и компетентность ЛПР в выработке оптимального решения для выполнения задачи в поставленный срок.

2. Действия лица, принимающего решение при перераспределении сил и средств в ходе тушения пожара

Причин, вызывающих пожар, особенно на ПОО, множество. Их условно можно разделить на внутренние и внешние.

Внутренние факторы описывают непосредственно саму систему управления ПСГ. Они подконтрольны ЛПР в ОГ и при соответственной компетенции его они своевременно им устраняются.

Внешние факторы условно разделяются на контролируемые и не контролируемые.

Внешние контролируемые факторы отражают взаимосвязь ПСГ с силами и средствами территориальных органов (ТО) МЧС России при совместном решении ими оперативно-тактических задач или косвенное их взаимодействие (администрация объекта, ЕДДС (ЦУКС ГПС), службы жизнеобеспечения города и т.д.

Внешние неконтролируемые факторы отражают характеристики оперативной обстановки, возникшей при стихийных бедствиях, изменении климатических условий, оперативно-тактические характеристики в зоне пожаров.

Оперативная группа создаётся как **субъект управления** [2], «... создаваемые на период ликвидации ЧС структуры (оперативные штабы ликвидации чрезвычайных ситуаций, **оперативные группы**), предназначенные для управления силами и средствами, координации деятельности федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций, привлекаемых для предупреждения и ликвидации ЧС».

При получении извещения о возникновении пожара в заданный район вдвигается ОГ. Источниками информации для неё может служить План привлечения сил и средств подразделений ПСГ для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ (АСР), а также данные, поступающие из места пожара. В последующем её деятельность может носить циклический характер. Цикл прерывается только в том случае, когда выполнение ОП боевой задачи по тушению пожара будет выполнено. На длительность циклического процесса основное влияние оказывают следующие факторы:

- оперативная обстановка в районе пожара. С её анализа запускается циклическая работа ОГ;
- возникновение нештатной ситуации, при которой недостаточно ранее привлечённых сил и средств для её ликвидации;

Рис. 3. Функциональная диаграмма действий ЛПР в ОГ при построении плана перераспределения сил и средств ОП между боевыми участками при тушении пожара

В распоряжении ЛПР в ОГ имеется, как документальная информация по объекту, на котором возник пожар, так и устная информация, поступающая с места пожара от различных источников, которая будет недостаточной, или избыточной, или вообще не совсем по существу вопроса. В этом случае ЛПР в ОГ должен проанализировать её, отобрать информацию, которая будет необходима для принятия управляющего решения. Одновременно он анализирует принимаемые решения в аналогичных ситуациях. На основании этих данных он вырабатывает управляющее решение и отдаёт распоряжение об его исполнении. Качество отданного распоряжения исполнителям напрямую зависит от личного опыта ЛПР в ОГ в организации тушения пожара и от уровня его теоретической подготовки.

Постоянный контроль за результатом выполнения управленческого решения обеспечивает своевременное

- определение вариантов перераспределения сил и средств, принимающих участие в тушении пожара;
- привлечение дополнительных сил и средств для тушения пожара.

Если при этом боевая задача по тушению пожара будет выполнена, то работа цикла заканчивается. Если же по каким-то причинам поставлена задача не выполняется, то цикл работы ОГ снова начинается с оперативной обстановки в районе пожара.

Функциональная диаграмма действий ЛПР в ОГ при разработке плана перераспределения сил и средств ОП между боевыми участками при тушении пожара, показана на рис. 3.

внесение в него изменений, в случае развития пожара в непредвиденном направлении. Если возникает сложная нештатная ситуация, то весь пройденный цикл повторяется до тех пор, пока пожар не будет потушен.

Таким образом, выполнение плана по тушению пожара определяется множеством факторов. Из них на первые места выносятся: оперативно-тактической характеристики объекта; параметры развития зоны бедствий и складывающейся оперативной обстановки в ней; тактические возможности и задачи, решаемые подразделениями ТО МЧС России и масштабы их действий; профессиональная подготовленность личного состава, участвующего в тушении пожара; временные параметры и др.

Предложенная формализация задачи перераспределения сил и средств ОП, выполняющих боевую задачу по тушению пожара, позволяет определиться с выбором математической модели для каждого этапа принятия управленческого реше-

ния. В качестве примера далее рассматривается математическая модель принятия управленческих решений при возникновении нестандартных ситуаций и характеризующая эффективность системы управления при выполнении боевой задачи при тушении пожара.

3. Математическая модель, определяющая условие, при котором выполняется боевая задача по тушению пожара.

В системе управления при информационной поддержке ОГ для ЛПР основными вопросами являются быстрое тушение пожара при минимальном для этого использовании сил и средств ОП.

В ряде работ по формированию математической модели по принятию управленческих решений авторы в основном используют подход, основанный на анализе ситуаций.

Для правильного распределения сил и средств ОП при тушении пожара, рассматривается математическая модель принятия управленческих решений, основанная на синтезе, в которой для формирования условий использован естественно-научный подход и закон сохранения целостности объекта, при которых гарантировано обеспечивается выполнение боевой задачи по тушению пожара [6].

Гарантированный успех, при минимальной затрате сил и средств, в выполнении поставленной задачи определяется: подготовленностью и укомплектованностью пожарных команд и от умения ЛПР в ОГ найти оптимальное решение для распределения (перераспределения) сил и средств ОП между боевыми участками.

При синтезе математической модели принятия управленческих решений по информационной поддержке ОГ применена методика [7], в основе которой и используется естественно-научный подход для формирования условий, при которых гарантировано обеспечивается выполнение боевой задачи по тушению пожара.

Разрабатываемая математическая модель описывает случайные процессы, которые составляют процессы без последовательности. Это означает, что вероятность перехода системы в новое состояние определяется только её состоянием в рассматриваемый момент времени, и не зависит от того, когда и каким образом она перешла в это состояние. Такой случайный процесс называется **марковским**. В рассматриваемой модели случайный процесс предусматривает смену дискретных состояний в случайные моменты времени. Поэтому в рассматриваемой модели используются свойства непрерывного неоднородного марковского процесса.

Так как вероятность перехода системы из одного состояния в другое точно в момент времени t равна нулю, как вероятность любого отдельного значения непрерывной случайной величины, то при моделировании состояния системы с **непрерывным марковским процессом** необходимо от переходных вероятностей $\lambda_{ij}(t)$, к плотности вероятностей переходов λ_{ij} .

Далее по схеме непрерывного неоднородного марковского процесса, рассматривается методика моделирования информационно-аналитической поддержки ОГ в районе тушения пожара.

1. *Определение состояния системы и плотности вероятностей переходов.*

Математическая модель рассматривается при наличии двух характерных ситуаций:

1. ЛПР в ОГ не имеет достаточного опыта в организации тушения пожара соответствующей категории и проведения АСР.

2. Прибывший к месту пожара пожарный расчёт сталкивается с ситуацией, когда данные КТП не совпадают с реальным состоянием объекта, на котором возник пожар. В этом случае необходим дополнительный резерв времени и аппаратно-программных средств для общения ЛПР в ОГ с оперативным дежурным (диспетчером).

Исходя из условия поставленной задачи, сетевой график математической модели будет отражать четыре её состояния (S). В состоянии S_1 рассматривается объект, на котором хранятся аварийно-опасные химические вещества, возник пожар. К месту пожара прибыл пожарный дежурный расчёт. При этом пожар потушен за нормативное время. Система перешла в состояние S_2 . Если за установленное время пожар не потушен, то система возвращается в исходное состояние S_1 . Поскольку задача управления не решена, то в этом случае вероятность перехода системы в исходное состояние будет характеризовать компетентность ЛПР в ОГ.

Прибывший к месту пожара пожарный расчёт обнаруживает, что данные КТП не совпадают с реальным состоянием объекта. Имеет место нештатная ситуация. Система из состояния S_1 перешла в состояние S_3 .

ЛПР в ОГ оценивает ситуацию и определяет потребность дополнительных сил и средств ОП. Из приемлемых методов разрешения возникшей ситуации он определяет оптимальный и оценивает время для его реализации. Для разрешения данных вопросов ему потребуется определённое время, значение которого является случайной величиной, так как оно определяется сложностью возникшей нештатной ситуации. В этом случае система со средней частотой $\nu_{с-м}$ перешла в состояние S_4 . Выход её из этого состояния возможен двумя путями:

- из состояния S_4 система перейдёт в состояние S_2 при условии, что ЛПР в ОГ имеет необходимое количество сил и средств ОП и, в отводимое время, способен реализовать оптимальный метод тушения пожара;
- из состояния S_4 система перейдёт в состояние S_1 при условии, что ЛПР в ОГ не готов к решению проблемы.

Поскольку задача управления не решена, то в этом случае вероятность перехода системы в исходное состояние будет характеризовать компетентность ЛПР в ОГ.

Таким образом, рассматриваемая математическая модель позволяет получить оценку квалификации ЛПР в ОГ и степень эффективности принимаемых им решений, что определяет эффективность информационной поддержке ОГ.

Пусть среднее время, затраченное на тушение пожара при переходе системы из состояния S_1 в S_2 равно $T_{эф}$, тогда средняя частота выполненной поставленной задачи по тушению пожара определяется как $\omega_{вып} = 1/T_{эф}$.

Если среднее время $T_{ср}$, затраченное на тушение пожара при переходе системы из состояния S_1 в S_2 больше $T_{эф}$, то средняя частота не выполненной поставленной задачи определяется как $\omega_{нв} = 1/T_{ср}$. и система из состояния S_2 вернётся в состояние S_1 .

За счёт возникновения нештатной ситуации система из состояния S_1 , с частотой перехода $\nu_{сн}$, в состояние S_3 .

При этом ЛПР в ОГ со средней частотой $v_{с-м}$ решает задачи по определению необходимого количества сил и средств ОП и метод тушения пожара. Обеспечивается переход системы из состояния S_3 в S_4 .

Пусть среднее время устранения возникшей нештатной ситуации, определяющее переход системы из состояния S_4 в S_2 , равно $\Delta T_{нор}$, тогда переход системы в заданное состояние определяется как $v_{нор} = 1/(\Delta T_{нор})$. Если ЛПР в ОГ неспособно определить ситуацию или при принятии адекватных мер превысил установленное время ($\Delta T_{затр} > \Delta T_{нор}$), то переход системы из состояния S_4 в S_1 определяется как $v_{кв} = 1/(\Delta T_{затр})$. В этом случае частота перехода $v_{кв}$ определяет квалификацию ЛПР в ОГ. Это выражение показывает степень подготовленности ЛПР в ОГ к решению возможных нештатных сложных ситуаций.

2. *Сетевой график состояний системы при организации тушения пожара.*

В соответствии с приведёнными выше логическими рассуждениями на рис. 4 изображён график перехода системы для различных ситуаций.

Рис. 4. Модель действий ЛПР в ОГ при организации тушения пожара

На рисунке 4 приведены следующие обозначения:

$\omega_{вып}$ – средняя частота выполненной поставленной задачи по тушению пожара. Происходит переход системы из S_2 в S_1 ;

$\omega_{нв}$ – средняя частота невыполненной поставленной задачи по тушению пожара. Происходит переход системы из S_2 в S_1 ;

$v_{сп}$ – средняя частота возникновения нештатной ситуации. Происходит переход системы из S_2 в S_3 ;

$v_{с-м}$ – средняя частота решения задачи по определению необходимого количества сил и средств ОП и метода тушения пожара. Происходит переход системы из S_3 в S_4 ;

$v_{нор}$ – средняя частота решения задачи, когда ЛПР в ОГ имеет необходимое количество сил и средств ОП и, в отведенное время $\Delta T_{нор}$ решает задачу о тушении пожара. Происходит переход системы из S_4 в S_2 ;

$v_{кв}$ – средняя частота при не решении задачи, когда ЛПР в ОГ не готов к решению задачи в отведенное для этого время. Происходит переход системы из S_4 в S_1 поскольку задача управления не решена;

Рассматриваемая математическая модель информационной поддержки ОГ в ходе выполнения ими боевой задачи по руководству силами и средствами ОП при тушении пожара предполагает следующие предположения и допущения:

– в ходе решения задачи по организации тушения пожара рассматривался процесс принятия управленческих решений ЛПР в ОГ;

– нештатные ситуации по распространению огня проявляются в случайные промежутки времени $\Delta T_{сл}$ в ходе его тушения.

Эти ситуации образуют во времени поток, близкий к потоку Пуассона, так как в единицу времени их могут быть несколько. При этом время обработки данных о возникшей нештатной ситуации является величиной случайной.

Возникающие нештатные ситуации бывают различных видов и сложности. Поэтому для их разрешений организуется диалог между ЛПР в ОГ, диспетчером и другими руководителями, силы и средства которых задействованы в организации тушения пожара, а также имеющиеся в их распоряжении аппаратно-программные комплексы.

Информационная поддержка ОГ является неотъемлемым элементом всей системы управления, развёртываемой при организации тушения пожара. Поэтому в последующем для рассмотрения нештатных ситуаций (НС) применяется термин **управление**.

Пусть возникла НС, когда действие её соизмеримо со временем её анализа и устранения.

С учётом принятых допущений, для решения задачи по определению показателя эффективности управления при организации тушения пожара со стороны ЛПР в ОГ необходимо для функции $P_i(t)$, где $i = 1, 2, \dots, n$, составить и решить систему дифференциальных уравнений Колмогорова [7].

3. *Составление системы дифференциальных уравнений для нахождения вероятностей перехода системы из одного состояния в другое, при организации тушения пожара.*

Пусть система в рассматриваемый момент времени t с вероятностями $p_i(t)$ находилась в состоянии S_i и за время Δt перешла в состояние S_j . Потоком интенсивностью λ_{ij} система перейдет в состояние S_j с вероятностью, приблизительно равной $\lambda_{ij} \Delta t$. Тогда вероятность того, что система будет находиться в состоянии S_j равна $p_j(t) \lambda_{ij} \Delta t$.

Применяя теорему сложения вероятностей и переходя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получится дифференциальное уравнение первого порядка. В этом случае производная вероятности i -го состояния $p_i(t)$ будет равна алгебраической сумме произведений $p_j(t) \lambda_{ji}$ и $-p_i(t) \lambda_{ij}$. Число произведений определяется числом переходов с состоянием системы S_j . Если на графе переход направлен в данное состояние, то соответствующее произведение имеет знак плюс, если выходит из него берётся со знаком минус.

В соответствии с математической моделью (рис. 4) для переходных состояний система уравнений Колмогорова принимает вид:

$$\begin{aligned} dp1tdt &= \omega_{нв} \cdot p2t + v_{кв} \cdot p4t - \omega_{вып} + v_{нш} \cdot p1t, \\ dp2tdt &= \omega_{вып} \cdot p1t - \omega_{нв} \cdot p2t + v_{нор} \cdot p4t \\ dp3tdt &= v_{сп} \cdot p1t - v_{с-м} \cdot p3t \\ dp4tdt &= v_{с-м} \cdot p3t - v_{кв} + v_{нор} \cdot p4t \end{aligned}$$

4. *Определение начальных условий и решение системы дифференциальных уравнений.*

Основу решаемой задачи является тушение пожара, что напрямую зависит от ЛПР в ОГ. Зависимость выполнения данной задачи от других параметров в данной статье не рассматривается.

Задача считается выполненной, если система из состояния S_1 переходит в состояние S_2 – пожар потушен. Если же система возвращается снова в состояние S_1 , при наличии необходимого количества сил и средств ОП, то это означает неспособность ЛПР в ОГ выполнить поставленную задачу.

Для определения вероятности, нахождения системы в каждом состоянии необходимо решить систему дифференциальных уравнений.

Так как рассматриваемая система замкнута то для неё сумма вероятностей переходов системы из одного состояния в другое определяется как $p_1(t) + \dots + p_4(t) = 1$.

Рассматриваемая математическая модель описывает случайные процессы, которые составляют процессы без последовательности. В ней случайный процесс предусматривает смену дискретных состояний в случайные моменты времени. При этом вероятность перехода системы из одного состояния в другое точно в момент времени t равна нулю, как вероятность любого отдельного значения непрерывной случайной величины. В исходном состоянии вероятности нахождения системы в любом состоянии равна нулю. В этом случае одно из дифференциальных уравнений является производным из остальных. Поэтому его можно исключить из системы уравнений, а вместо него записать сумму верностей. Таким образом, система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{cases} 0 = \omega_{\text{нв}} \cdot p_2(t) + v_{\text{кв}} \cdot p_4(t) - (\omega_{\text{вып}} + v_{\text{нш}}) \cdot p_1(t) \\ 0 = \omega_{\text{вып}} \cdot p_1 - \omega_{\text{нв}} p_2 + v_{\text{нор}} \cdot p_4 \\ 0 = v_{\text{сп}} \cdot p_1 - v_{\text{с-м}} \cdot p_3 \\ 1 = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 \end{cases}$$

Решением этой системы уравнений определяется вероятности $p_1, \dots, p_4$ нахождения системы соответственно в каждом своём состоянии $S_1, \dots, S_4$. Результат решения приведён в таблице 2.

Математическая модель рассматривалась с точки зрения определения вероятности нахождения системы в состоянии S_2 . Это означает, что боевая задача по тушению пожара выполнена. Поэтому в уравнение p_2 , подставляя исходные данные, характеризующие подготовленность ПСГ к выполнению боевой задачи по тушению пожара (технические возможности, опыт ЛПР в ОГ и квалификацию состава ОГ) можно определить вероятность того, что оставленная задача будет выполнена.

Рассмотренный подход, описывающий процессы в виде граф состояний и сетевой модели, позволили связать временные интервалы и состояния процессов, возникающих при тушении пожаров с критическим путём, который определяет компетенцию ЛПР в ОГ. Чем он короче, тем выше его квалификация.

Таблица 2

Результат решения системы уравнений, определяющих вероятности $p_1, \dots, p_4$ нахождения системы соответственно в каждом своём состоянии $S_1, \dots, S_4$

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \omega_{\text{нв}} + v_{\text{с-м}} v_{\text{кв}} \omega_{\text{нв}}}{v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} + v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \cdot \omega_{\text{вып}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{вып}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{нв}}} \\ p_2 &= \frac{v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \cdot \omega_{\text{вып}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{вып}}}{v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} + v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \cdot \omega_{\text{вып}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{вып}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{нв}}} \\ p_3 &= \frac{v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{нв}}}{v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} + v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \cdot \omega_{\text{вып}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{вып}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{нв}}} \\ p_4 &= \frac{v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot \omega_{\text{нв}}}{v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} + v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{с-м}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{сп}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \cdot \omega_{\text{вып}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{нор}} \cdot \omega_{\text{нв}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{вып}} + v_{\text{с-м}} \cdot v_{\text{кв}} \cdot \omega_{\text{нв}}} \end{aligned}$$

Заключение

Использована контекстная диаграмма верхнего уровня известной методологии системного моделирования IDEF0. Рассмотрена формальная постановка задачи информационной поддержки ОГ при выполнении ими боевой задачи по тушению пожара. Дальнейшей её декомпозицией получены диаграммы, которые отражают основные этапы решения поставленной задачи и взаимосвязь этих этапов. Функциональные типы связи «выход – управление» отражены в виде направленных линий, моделирующих формальные связи между отдельными состояниями системы.

Показаны обратные связи, типа «выход – управление», которые отражают ход выполнения поставленной задачи и выдачи рекомендаций по внесению изменений в ПТП.

При организации тушения пожара перед ЛПР в ОГ возникают непредвиденные задачи, когда данные в КТП на данный объект не соответствует реальному его состоянию. При этом ему приходится общаться с диспетчером с целью нахождения решения возникшей ситуации.

В данной статье отражены ситуации, которые непосредственно связаны с квалификацией ЛПР в ОГ и подготовленностью личного состава ОГ правильно оценивать реальную обстановку на месте пожара и принимать взвешенные решения, направленные не только на процесс тушения пожара, а в первую очередь на спасение людей, находящихся в очаге пожара и самых пожарных.

Рассмотренный подход к моделированию на основе синтеза позволяет оценить любое принимаемое решение с позиции временных и ресурсных затрат, а также установить четкую, научно обоснованную связь принимаемого решения с результатами принимаемых действий.

Литература

1. Приказ МЧС России от 25.10.2017 N 467 Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах (Зарегистрировано в Минюсте России 09.02.2018 N 49998).
2. Методические рекомендации по организации деятельности оперативных штабов ликвидации чрезвычайных ситуаций и оперативных групп территориальных органов МЧС России, местных гарнизонов пожарной охраны (утв. МЧС России 01.11.2013 N 2-4-87-34-14).
3. Наставление по организации управления и оперативного (экстренного) реагирования при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Утверждено протоколом заседания Правительственной комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности от 10.03.2020 № 1.
4. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ / Издание официальное. М.: Госстандарт России, 2000. 75 с.
5. Гришанов Г.М., О.В. Павлов. Исследование систем управления: учебное пособие. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2005. 128 с.
6. Бурлов В.Г., Грачев М.И. Аналитическо-динамическая модель управленческого решения в социально-экономических системах на примере руководителя учебного заведения высшего образования // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. №10. С. 27-34.
7. <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=uravneniya-kolmog>.
8. Бусленко Н.П. и др. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). М.: ГИФМЛ, 1962. 244 с.

MATHEMATICAL MODEL OF INFORMATION SUPPORT FOR OPERATIONAL GROUPS OF THE FIRE AND RESCUE GARRISON

Natalia V. Rozhkova, Department of operational management of the EMERCOM of Russia", Moscow, Russia, nvr9@mail.ru

Strakholes A. Andrei, Academy of the state fire service of the EMERCOM of Russia, Moscow, Russia, astraholis@rambler.ru

Abstract

Support for management decision-making in emergencies (firefighting), in uncertain conditions of its occurrence and uncertainty of its development is necessary for the organization of optimal distribution of the forces and resources of operational units involved in firefighting, and the knowledge of the Manager. The process of our research is limited only to the case of fire. Taking into account the fact that the data in the fire-extinguishing card does not always coincide with the state of the object where the fire occurred and the unpredictability of the direction of fire propagation, the decision-maker in this situation will organize work to obtain reliable information. These features allow us to consider the object where the fire occurred as a complex system. In this case, the main difficulty of information and analytical support for operational groups, as a management entity, is that at the first stage, the decision-maker in the operational group, without having complete reliable information, organizes its clarification. With the correct organization of their work, the task force ensures maximum efficiency of using the units of the Ministry of emergencies of Russia, when solving their combat tasks. At the same time, it can collect information about an emergency when it receives a notification of its occurrence, as well as on the way of the operational units to the specified area. The issues that determine the development of documents in different periods of the operational situation are considered, and the actions of the decision-maker in the operational group during fire extinguishing are highlighted separately. In this mathematical model, in which the transition of the system from the state of "fire occurrence" to the state of "fire extinguished" is modeled, the properties of a continuous Markov process are used. The solution of Kolmogorov's system of differential equations determines the probability that characterizes the competence of the decision-maker in the task force.

Keywords: management efficiency, model, Manager's qualification, distribution of forces and resources, emergency response, emergency response Manager, network models.

References

1. The order of EMERCOM of Russia from 25.10.2017 467 N On approval of the Provision about fire and rescue Garnizons (is Registered in Ministry of justice of Russia 09.02.2018 N 49998).
2. Methodical recommendations on the organization of the activity of operational headquarters of emergency response and operational groups of territorial bodies of the EMERCOM of Russia, local garrisons of fire protection (approved by the EMERCOM of Russia on 01.11.2013 N 2-4-87-34-14).
3. Guidance on the organization of management and operational (emergency) response to emergency situations. Approved by the minutes of the meeting of the Government Commission for the prevention and elimination of emergencies and fire safety dated 10.03.2020 No. 1.
4. IDEF0 functional modeling Methodology. Guidance document. official Publication. Moscow: Gosstandart of Russia, 2000. 75 p.
5. Grishanov G.M., Pavlov O.V. (2005). Research of management systems: a textbook. Samara: Samar. gosudarstvenny. aerospace. UN-t. 128 p.
6. Burlov V.G., Grachev M.I. (2019). Analytical and dynamic model of management decision in social and economic systems on the example of the head of a higher education institution. T-Comm. Vol. 13. No. 10. P. 27-34.
7. <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=uravneniya-kolmog>.
8. Method of statistical tests (Monte Carlo method). N. p. Buslenko [et al.]. Moscow: GIFML, 1962. 244 p.