

# ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ

**Д.С. Буданов.**

**Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
г. Железногорск**

Статья посвящена разработке имитационной модели процесса реагирования на чрезвычайные ситуации на магистральных газопроводах силами и средствами федеральной противопожарной службы. Рассмотрены основные проблемы, возникающие при планировании и проведении ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на магистральных газопроводах, предложена простая имитационная модель, позволяющая оценить недостаток сил и средств для реагирования на чрезвычайную ситуацию.

*Ключевые слова:* чрезвычайные ситуации, магистральный газопровод, имитационная модель

## APPROACHES TO CONSTRUCTION OF SIMULATION MODELS RESPONDING TO EMERGENCY SITUATIONS ON THE GAS PIPE

D.S. Budanov.

Siberian fire and rescue academy of State fire service of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk

The article is devoted to the development of a simulation model of the process to respond to emergencies on gas pipelines and the forces of the federal fire service. The main problems encountered in the planning and conduct of emergency response on gas pipelines, proposed a simple simulation model that allows to assess the lack of manpower and resources for emergency response.

*Keywords:* emergency, gas pipeline, simulation model

Защита объектов газотранспортной инфраструктуры является одной из актуальных проблем, стоящих перед современной пожарной охраной. Любой пожар на газопроводе, компрессорной станции или любом другом объекте, не локализованный и не ликвидированный своевременно, влечет за собой не только колоссальные экономические последствия, но и может привести к масштабной экологической катастрофе, а также к человеческим жертвам. Одна из наиболее масштабных в истории СССР и России (по количеству жертв среди населения) техногенных катастроф, случилась именно в связи с аварией и последующим пожаром на объекте трубопроводного транспорта. В момент встречного прохождения двух пассажирских поездов в 11 км от г. Аша (Челябинская область) на перегоне Аша – Улу-Теляк произошел мощный взрыв облака легких углеводородов, образовавшегося в результате аварии на проходящем рядом трубопроводе «Сибирь – Урал – Поволжье». Погибли 575 человек (по другим данным 645), 181 из них – дети, ранены более 600 [1].

Существенные последствия для экологии могут вызвать аварии на объектах газотранспортной инфраструктуры. К таким эффектам можно отнести масштабные высокоинтенсивные природные пожары, эмиссии различных загрязняющих веществ, нарушения естественных ландшафтов и т.д.

Ущерб для экономики может быть как прямым, который заключается в потере природного газа, затратах на ликвидацию и восстановление инфраструктуры. Также ущерб может быть косвенным, заключающимся в потере инвестиций и репутационных рисках.

Еще одной стороной данной проблемы является то, что тушение пожара горючих газов, истекающих под давлением – это весьма сложная задача. Как правило, подавление горения в этих случаях достигается перекрытием газового потока. Нередко быстро перекрыть поток газа не удается и приходится тушить горящий факел. При пожарах природного газа, истекающего из труб диаметром до 150 мм с расходом  $75 \text{ м}^3/\text{с}$  пламя имеет высоту до 80 м, диаметр – до 20 м, площадь – до  $2000 \text{ м}^2$ . Наиболее эффективно тушение таких пожаров с помощью порошковых огнегасительных составов на основе бикарбонатов калия и натрия. Так, тушение пожара при вертикальном истечении газа с расходом до  $75 \text{ м}^3/\text{с}$  достигается при подаче состава на основе бикарбоната калия из двух стволов с общим расходом порошка около 10 кг/с. Труднее всего поддается тушению горящий газ, истекающий вниз или в горизонтальном направлении. Удельный расход порошков при тушении такого пожара повышается на 30–50 %. Воздействие газожидкостных средств на горящий факел, как правило, не позволяет потушить пожар. Одним из наиболее эффективных способов тушения такого пожара является введение газовых средств тушения в магистраль, по которой поступает горячий газ. Одновременно с тушением пожара на газопроводе необходимо осуществлять его охлаждение [2].

Таким образом, проблема противопожарной защиты газопроводов, как существующих, так и строящихся, является актуальной и требует изучения.

### **Существующие подходы к противопожарной защите газопроводов**

Противопожарная защита газопроводов и объектов газопроводной инфраструктуры представляет собой классическую задачу защиты линейных объектов, однако имеет некоторые существенные особенности. Помимо неукоснительного соблюдения требований основных нормативных правовых актов, регулирующих строительство и эксплуатацию объектов газотранспортной инфраструктуры, необходимо предусматривать меры по своевременному реагированию на нештатные ситуации и обеспечивать наличие и постоянную готовность необходимых сил и средств для оперативного реагирования.

Очень важную роль в обеспечении пожарной безопасности на газопроводах играют различные устройства пожарной автоматики. Грамотное проектирование и монтаж автоматических комплексов мониторинга и систем активной противопожарной защиты могут предотвратить значительную долю чрезвычайных ситуаций на объектах газотранспортной инфраструктуры. Однако основой реагирования и обеспечения пожарной безопасности остаются специализированные противопожарные формирования.

Основным документом, регламентирующим порядок привлечения и применения сил и средств для ликвидации последствий аварий на технологических объектах, на которых вероятны аварии с выбросами токсичных и взрывопожароопасных веществ, взрывами в производственных помещениях, в аппаратуре и в наружных установках, которые, в свою очередь, могут привести к поражению людей, разрушению технологического оборудования, сооружений, зданий, нанести вред окружающей природной среде, является так называемый план локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС).

Целью разработки плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварии являются:

- определение возможных сценариев возникновения аварийной ситуации и ее развития;
- определение готовности организации к локализации и ликвидации аварийных ситуаций на опасном производственном объекте;
- планирование действий производственного персонала и аварийно-спасательных служб (формирований) по локализации и ликвидации аварийных ситуаций на соответствующих стадиях их развития;

- разработка мероприятий, направленных на повышение противоаварийной защиты и снижение масштабов последствий аварий;
- выявление достаточности принятых мер по предупреждению аварийных ситуаций на объекте.

Однако часто такие планы являются формальными документами и не учитывают особенностей защищаемого объекта. Для эффективного планирования противопожарных мероприятий необходимы исследования динамики аварийности и выявления основных причин, приводящих к возникновению аварийных ситуаций и повреждений [3]. Другой слабостью подхода, основанного на применении ПЛАС, является то, что объектовые штатные и нештатные аварийно-спасательные формирования, как правило, защищают объекты инфраструктуры и промышленные участки трубопроводов. Защита магистральных участков газопроводов (МГ) чаще всего возлагается на подразделения федеральной противопожарной службы, в районе выезда которых проходит участок трубопровода.

Противопожарная защита МГ является весьма трудной задачей, что обусловлено:

- высокой производительностью МГ и значительной протяженностью секций между линейными кранами – свойствами, объективно обуславливающими в случае разрыва трубопровода выброс в окружающую среду больших количеств природного газа;
- прямым контактом МГ с природной средой, предопределяющий наличие разрушающих воздействий, снижающих конструктивную надежность трубопровода;
- неоднородностью грунтовых, гидрогеологических, ландшафтно-топографических, антропогенных и техногенных условий при изменяющихся по трассе конструктивно-технологических и эксплуатационных параметрах самого трубопровода;
- непредсказуемостью точного места возникновения аварии по длине трассы, что усложняет методические подходы к расчету показателей риска на прилегающей к трассе трубопровода территории [4].

Решение данной, технологически сложной и достаточно опасной, задачи возлагается на пожарно-спасательные части общего назначения, укомплектованные штатной техникой и личным составом, ориентированным на решение тривиальных задач противопожарной службы (то есть не проходящим специальное обучение по тушению газовых фонтанов в достаточном объеме и с достаточной регулярностью). Безусловно, к тушению привлекаются специализированные ведомственные формирования, однако в наиболее ответственный момент времени, при прибытии первого подразделения на пожар, оно может оказаться недостаточно подготовленным.

Для решения указанной проблемы предлагается использовать имитационное моделирование возникновения аварийных ситуаций (пожаров) на магистральных трубопроводах и решать задачу оптимизации распределения сил и средств, резервируемых для тушения пожаров. Результаты имитационного моделирования могут быть использованы как при проектировании вновь строящихся объектов трубопроводной инфраструктуры, так и при уточнении ПЛАС на существующие объекты. В данной работе приведены подходы к созданию комплекса имитационных моделей по возникновению пожаров на магистральных трубопроводах и применению сил и средств по их ликвидации.

### **Имитационная модель противопожарной защиты магистрального трубопровода**

В общем случае имеются некоторые пожарно-спасательные части, случайным образом распределенные относительно трассы магистрального газопровода. Силы и средства, имеющиеся в наличии в данных частях можно принять за константу. Пожары, возникающие в районе выезда части с некоторой частотой  $\phi$  характеризуются случайным временем начала  $t_s$ , продолжительностью  $\tau$  и требуют для тушения некоторое произвольное число ресурсов  $n$ .

Пусть есть некоторое множество пожаров  $A$ , которое соответствует пожарам на магистральном газопроводе, и множество пожаров  $B$ , возникающих в остальном районе выезда части. Каждый элемент этих множеств характеризуется кортежем  $\langle \phi, t_s, \tau, n \rangle$ . Положим, что есть некоторое множество  $C$ , такое что:

$$C = \left\{ c \mid (t_s^A + \tau^A) \cap (t_s^B + \tau^B) \right\} .$$

Если множество  $C$  не пустое, это значит, что при возникновении пожара на газопроводе все силы и средства не будут доступны. Дефицит ресурсов составит:

$$d = |n_A - n_B| .$$

В контексте прогнозирования необходимости привлечения сил и средств и составления ПЛАС будут интересовать мощность множества  $|C|$  и дефицит  $d$ .

Поскольку нет сведений о характере распределений случайных величин, виде функций, описывающих поведение системы, целесообразно строить имитационную модель, руководствуясь общими соображениями, рассмотренными выше. В дальнейшем такая модель может быть достаточно просто уточнена, без качественной перестройки. В качестве инструмента имитационного моделирования будем использовать пакет AnyLogic.

Имитационную модель построим в следующей форме. Пусть есть два потока заявок, поступающих в пожарную часть: поток `ordinary_call` описывает заявки на «обычные» пожары и ЧС; поток `threat_MG` обозначает угрозы магистральному газопроводу. Заявки обслуживаются одним пулом ресурсов `resource_FPS`, имитирующем пожарную часть. Емкость пула ресурсов составляет три единицы. Интенсивность поступления заявок в потоке `ordinary_call` составляет 6,048 заявки/день. Данная величина выбрана по данным работ [5, 6]. При этом для обработки этого типа заявок требуется от одного до трех ресурсов, что определяется случайным равномерно распределенным числом.

Заявки потока `threat_MG` поступают со случайной интенсивностью, характеристики интенсивности – нормально распределенная случайная величина, с математическим ожиданием  $m=365$  и среднеквадратическим отклонением  $s=100$ . Данные величины были выбраны, основываясь на данных работы [3]. Как показано в этой работе, за 10 лет на магистральном участке газопровода «Средневилюйское газоконденсатное месторождение – Мастах – Берге – Якутск» произошло 43 аварийных ситуации и происшествия. Положим, что вмешательства подразделений федеральной пожарной службы данные происшествия требуют примерно 25 % случаев. Таким образом, получаем примерно одну заявку в год. Поскольку шаг дискретизации времени в имитационной модели равен одному дню, получаем значения интенсивности поступления заявок указанные выше. Среднеквадратическое отклонение было выбрано из общих соображений и требует уточнения.

Принципиальная схема имитационной модели приведена на рис. 1.

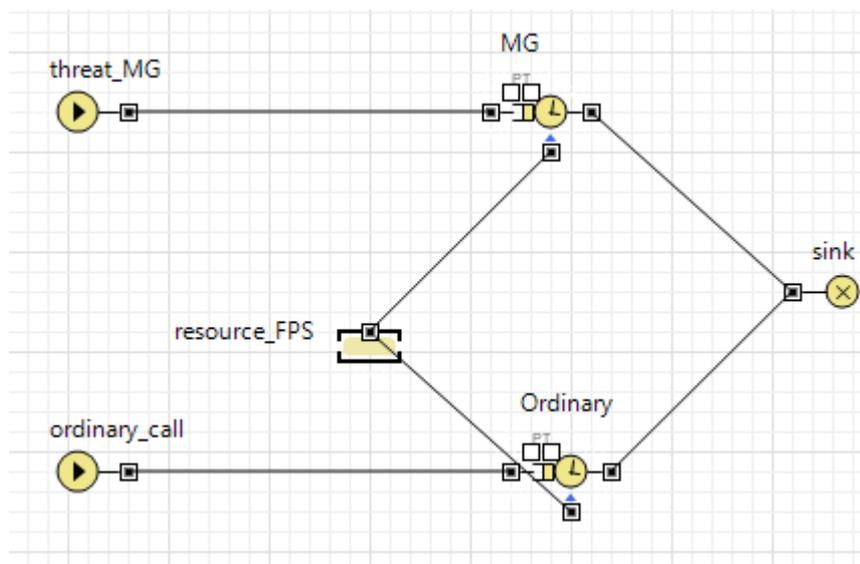


Рис. 1. Принципиальная схема имитационной модели

Рассмотрим результаты моделирования за 10 лет. В первую очередь интересны случаи, когда реагирование на заявку (сообщение об аварийной ситуации на магистральном газопроводе) не могло быть проведено в полном объеме из-за занятости ресурсов, то есть дефицит ресурсов  $d$ , как описано выше. Гистограмма распределения таких ситуаций за 100 условных лет моделирования приведена на рис. 2. Большой период моделирования был выбран для достижения статистической значимости результатов.

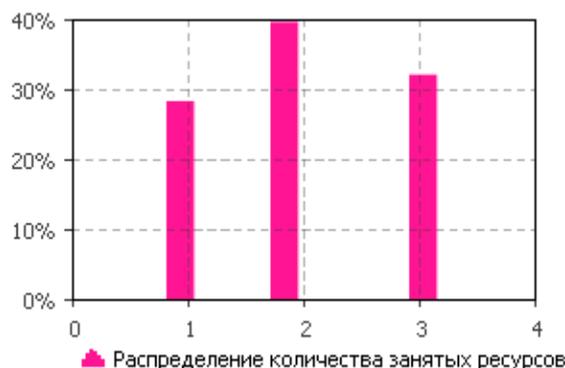


Рис. 2. Распределение количества занятых ресурсов

Всего за исследуемый период произошло 102 пожара на магистральном газопроводе, при этом в 53 случаях ресурсы были доступны не в полном объеме, то есть  $|C| = 53$ . Как видно из гистограммы, примерно в 30 % случаев были заняты все доступные ресурсы,  $d=3$ . Точнее говоря, примерно в 17 % случаев свободных ресурсов для своевременного реагирования на ЧС на магистральном газопроводе не окажется.

Имитационная модель в данном виде является крайне упрощенной, однако даже такая модель позволяет делать некоторые выводы и строить прогнозы. Используя общие принципы, описанные в данной работе, можно построить более точную имитационную модель процесса реагирования на ЧС на магистральных газопроводах силами и средствами федеральной противопожарной службы. Для этого необходимо будет собрать более обширную статистику по возникновению ЧС на газопроводах, уточнить коэффициенты уравнений, описывающих поведение системы и законы распределения случайных величин.

После этого, результаты имитационного моделирования можно будет использовать для составления уточненных ПЛАС.

Еще одним, весьма перспективным направлением развития данного подхода, на наш взгляд, является автоматизация составления расписания выездов и поддержка принятия решений при управлении силами и средствами федеральной противопожарной службы в пределах отряда, гарнизона.

### **Литература**

1. Железнодорожная катастрофа под Уфой // Википедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Железнодорожная\\_катастрофа\\_под\\_Уфой](https://ru.wikipedia.org/wiki/Железнодорожная_катастрофа_под_Уфой) (дата обращения: 09.10.2015).

2. Учебник спасателя / С.К. Шойгу[и др.]; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. 2-е изд., перераб. и доп. Краснодар: Сов. Кубань, 2002. 528 с.

3. Чухарева Н.В., Миронов С.А., Тихонова Т.В. Прогнозирование аварийных ситуаций и повреждений магистральных газопроводов в условиях Крайнего Севера // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 3. С. 99–107. URL: [http://ogbus.ru/authors/Chuhareva/Chuhareva\\_2.pdf](http://ogbus.ru/authors/Chuhareva/Chuhareva_2.pdf) (дата обращения: 09.10.2015).

4. Открытое акционерное общество «Газпром». Стандарт организации. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» / СТО Газпром 2-2.3-351-2009. М., 2009. 384 с.

5. Коморовский В.С., Мартинович Н.В., Якимов В.А. Имитационная модель выезда караула пожарной части на основе анализа журнала пункта связи пожарно-спасательной части // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2014. № 4 (12). С. 5–10.

6. Исследование деятельности караула пожарной части методом «process mining» / В.С. Коморовский [и др.] // Технологии техносферной безопасности. Науч. Интернет-журн. 2014. Вып. 3 (55).