

УДК 618.49 + 004.891.2

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2017

Модель оптимизации мероприятий для управления пожарными рисками на территории нефтегазовых объектов с использованием генетических алгоритмов¹

С. В. Гудин,
Р. Ш. Хабибулин,
Академия ГПС МЧС России,
г. Москва

Аннотация

В статье предложена математическая модель оптимизации мероприятий по управлению пожарными рисками на территории производственных объектов нефтегазовой отрасли с использованием генетических алгоритмов. На практическом примере определено количество возможных комбинаций мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков на типовой газораспределительной станции. Предложенная математическая модель реализована в структуре информационной системы FireRisks. Проведен анализ разработанной модели, сделаны выводы о полученных результатах, определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: пожарный риск, газораспределительная станция, FireRisks, генетические алгоритмы, мероприятия по снижению риска.

Содержание

Введение

1. Проблема оптимизации мероприятий для управления пожарными рисками
2. Описание математической модели оптимизации мероприятий для управления пожарными рисками
3. Место алгоритма поиска комбинации мероприятий, направленных на снижение величин пожарных рисков в системе управления пожарными рисками
4. Анализ эффективности полученной модели

Заключение

Литература

¹ Данное научное исследование проводится при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК» по теме «Разработка интеллектуальной геоинформационной системы управления пожарными рисками на производственных объектах».

Введение

В настоящее время существует множество программных продуктов для количественной оценки расчетных величин пожарных рисков [1], которые могут определять опасные факторы пожара на территории производственных объектов и прилегающих к ним территориях, а также определять расчетные величины пожарных рисков. В большинстве случаев после выполнения расчетов необходимо подобрать дополнительные мероприятия, направленные на снижение расчетных величин пожарных рисков до приемлемых значений.

Существует большое количество возможных мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков (изменение противопожарных расстояний, установка систем оповещения и управления эвакуацией, снижение количества обращающихся пожароопасных веществ и т. д.). Как правило, одного мероприятия недостаточно и требуется найти их оптимальную комбинацию. Таким образом, комбинаций таких мероприятий с учетом множества технологических установок, находящихся на территории производственных объектов, может быть значительное количество. Для качественной оценки каждой комбинации мероприятий требуется повторная оценка расчетных величин пожарных рисков. В связи с большим объемом возможных комбинаций эта процедура является трудоемкой, и в настоящее время при выборе мероприятий, как правило, полагаются на типовые решения или мнения экспертов. *При этом современные программные продукты не обладают специальными алгоритмами, позволяющими делать подбор комбинаций мероприятий с использованием оптимизационных методов.* Проблема оптимизации мероприятий неоднократно рассматривалась и решалась другими исследователями в различных управленческих сферах [2]. Для решения похожих задач использовались различные подходы, такие как:

- логико-вероятностные подходы с использованием критических путей успешного функционирования или минимальных сечений отказов и значений и вкладов инициирующих событий (мероприятий) в риск и эффективность системы [3];
- событийный подход [4];
- метод рандомизированных сводных показателей [5].

В данной работе представлены математическая модель и специальный алгоритм, позволяющий проводить подбор комбинаций мероприятий по управлению пожарными рисками на нефтегазовых объектах с использованием генетических алгоритмов.

1. Проблема оптимизации мероприятий для управления пожарными рисками

Для отражения проблем, связанных с оптимизацией мероприятий по управлению пожарными рисками, а также для проведения анализа рассматривался типовой объект нефтегазовой отрасли (газораспределительная станция — ГРС), на территории которого основным обращающимся веществом была пропан-бутановая фракция.

На территории находятся следующие объекты (рис. 1):

- зона А — зона работы операторов на железнодорожной эстакаде, 2 человека;
- зона Б — зона работы операторов у резервуарной группы (РГС 50), 2 человека;
- зона В — зона работы операторов у резервуарной группы (РГС 100), 2 человека;
- зона Г — зона работы операторов у резервуарной группы (РГС 100), 2 человека;
- зона Д — зона работы оператора у сепаратора, 1 человек;
- зона Е — зона работы операторов на автогазоправочной станции (АГЗС), 2 человека;
- зона Ж — административно-бытовой комплекс (АБК), 8 человек.

Прилегающие объекты:

- зона З — торговый комплекс, 1000 человек;
- зона И — микрорайон «Нефтяник», 300 человек.

На рис. 1 представлены результаты компьютерных расчетов в виде зон распространения потенциального пожарного риска на территории ГРС и прилегающей селитебной территории.

Для создания математической модели оптимизации комбинаций мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков на территории данного объекта нефтегазовой отрасли, а также проведения ее анализа был сформирован примерный список мероприятий

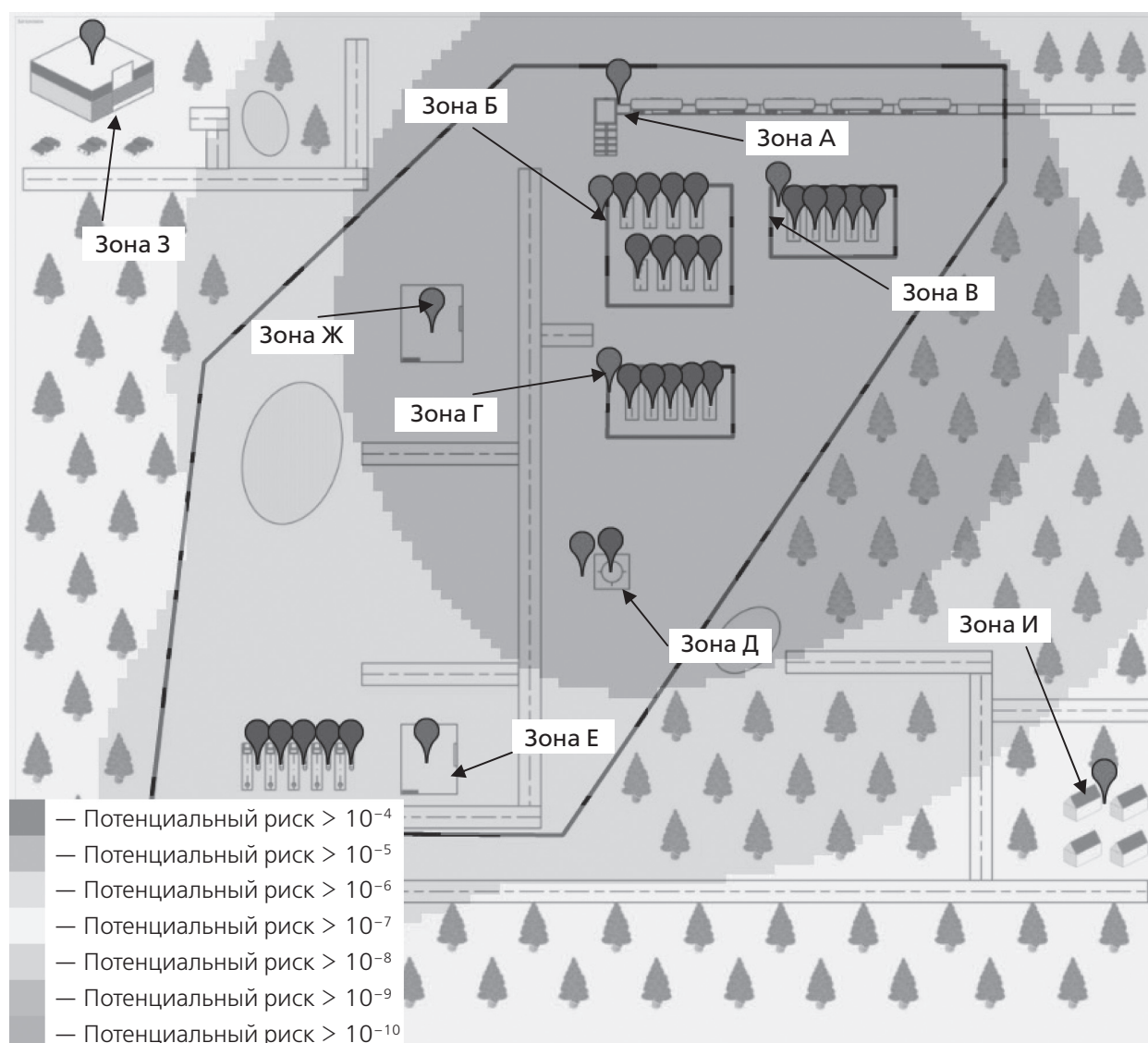


Рис. 1. Зоны распределения потенциального пожарного риска на территории ГРС и прилегающей селитебной территории

по управлению пожарными рисками с условными капитальными, эксплуатационными и приведенными затратами от базовой величины X (табл. 1).

Для 5 типов объектов на территории формируется 30 вариантов возможных мероприятий (РГС 50 — 5 мероприятий, АЦ — 7 мероприятий, ЖД цистерна — 7 мероприятий, сепаратор — 6 мероприятий, РГС 100 — 5 мероприятий).

Согласно формулам комбинаторики количество возможных сочетаний определяется по формуле [6]

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}, \quad (1)$$

где n — количество технологических объектов на территории; m — количество технологических объектов в одном сочетании.

Мероприятия по управлению пожарными рисками на территории ГРС

Таблица 1

№	Мероприятие по снижению расчетных величин пожарных рисков	К, руб.	С _з , руб./год	П, руб./год
1	Уменьшить степень заполнения на 15%	0	X	X
2	Уменьшить вероятность пребывания нестационарного аппарата на 20%	0	0,3X	0,3X
3	Установить автоматическую пожарную сигнализацию	0,3X	0,1X	0,16X
4	Установить автоматическую установку пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организации (вне зависимости от типа установки пожаротушения)	X	0,3X	0,5X
5	Установить автоматическую установку водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	0,6X	0,15X	0,27X
6	Установить остальные типы автоматических установок пожаротушения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	0,5X	0,1X	0,2X
7	Установить отбортовку 30 м ²	0,15X	0,01X	0,04X

Таким образом, чтобы получить общее количество мероприятий для одной группы объектов, необходимо определить сумму сочетаний с различным количеством мероприятий в одном сочетании (от 1 до количества уникальных мероприятий), а затем полученный результат умножить на количество замещающих друг друга мероприятий:

$$K = \left(\sum_{m=1}^M \frac{n!}{m!(n-m)!} \right) \cdot Y, \quad (2)$$

где K — количество возможных комбинаций мероприятий для одной группы технологических объектов; M — количество уникальных мероприятий; Y — количество замещающих друг друга мероприятий.

Чтобы получить общее количество мероприятий, необходимо определить произведение возможного количества мероприятий для каждой группы технологических аппаратов на территории:

$$R = \sum_{g=1}^G K_g, \quad (3)$$

где R — общее количество возможных сочетаний мероприятий на рассматриваемом производственном объекте; G — количество групп технологических аппаратов на территории.

Для объектов ГРС 50, ГРС 100 возможно применение 5 видов различных мероприятий, 1 груп-

па из 3 мероприятий является взаимозамещающей (мероприятия № 4—6):

$$K_{1,2} = \left(\sum_{m=1}^3 \frac{3!}{m!(3-m)!} \right) \cdot 3 = 21 \text{ сочетание.} \quad (4)$$

Для сепаратора возможно применение 6 видов различных мероприятий, 1 группа из 3 мероприятий является взаимозамещающей (мероприятия № 4—6):

$$K_3 = \left(\sum_{m=1}^4 \frac{4!}{m!(4-m)!} \right) \cdot 3 = 45 \text{ сочетаний.} \quad (5)$$

По аналогии рассчитано количество возможных комбинаций мероприятий для ЖД цистерны и АЦ:

$$K_{4,5} = \left(\sum_{m=1}^5 \frac{5!}{m!(5-m)!} \right) \cdot 3 = 93 \text{ сочетания.} \quad (6)$$

Для определения общего количества комбинаций мероприятий необходимо получить произведение полученных результатов с учетом количества групп каждого типа объекта на территории.

Результаты расчета сведены в табл. 2.

Так как при рассмотрении мероприятий происходит перерасчет величин пожарных рисков, а разрабатываемая информационная система (ИС) по управлению пожарными рисками *FireRisks* (пла-

Сводная таблица количества возможных комбинаций мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков на территории ГРС

Таблица 2

№	Технологические установки	Номера возможных мероприятий	Количество мероприятий	Количество возможных комбинаций мероприятий	Количество групп объектов на территории	Общее количество возможных комбинаций мероприятий
1	РГС 50	1, 3—6	5	21	1	3 604 427 505
2	АЦ	1—7	7	93	1	
3	ЖД цистерна	1—7	7	93	1	
4	Сепаратор	1, 3—7	5	45	1	
5	РГС 100	1, 3—6	6	21	2	

нируется прохождение процедуры добровольной сертификации программного обеспечения) [7] способна выполнять примерно один on-line-расчет в секунду, то при заданных параметрах производительности ЭВМ (материнская плата: ASUS X99-A (RTL) LGA2011-3; процессор CPU Intel Core i7-5820K 3.3 Гц / 6 core; оперативная память: DDR4 PC4-17000 (4x8 Гб)) для выполнения 3 604 427 505 операций потребуется примерно 1142,9 года. Исходя из вышесказанного сделан вывод о необходимости использования оптимизационной модели для уменьшения количества необходимых операций для определения оптимальной комбинации мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков.

2. Описание математической модели оптимизации мероприятий для управления пожарными рисками

Основное требование к выбору оптимизационной методики — возможность поиска глобального оптимума среди множества локальных. Для решения этой задачи подходит концепция генетических алгоритмов, так как этот метод быстрее классических методик и требует меньшего количества ресурсов. Его эффективность отражена во многих исследованиях, в том числе в [8, 9]. Генетические алгоритмы используются для решения аналогичных задач с большим количеством информации. Практика их использования при решении комплексных задач продемонстрирована во многих работах, в том числе в [10, 11].

Как и другие методы оптимизации, они обладают своими недостатками [12]:

- 1) невозможность поиска локального оптимума функции в классическом виде генетического алгоритма;
- 2) в простых целевых функциях (гладкие, один экстремум и т.п.) генетические алгоритмы всегда проигрывают по скорости простым алгоритмам поиска;
- 3) относительно невысокая эффективность на заключительных фазах моделирования эволюции.

Для преодоления неприемлемых недостатков генетических алгоритмов используются их разные модификации [13, 14].

Преимуществом генетических алгоритмов являются:

- 1) возможность эффективно распараллеливать процесс выполнения задачи, что прямо влияет на скорость решения поставленных задач;
- 2) пригодность для поиска в сложном пространстве решений большой размерности;
- 3) отсутствие ограничений на вид целевой функции.

Для решения задачи поиска комбинаций мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков на территории объектов использовалась классическая модель генетических алгоритмов, предложенная в 1975 г. Джоном Холландом (John Holland) в Мичиганском университете [15], с дальнейшей ее модификацией для повышения эффективности решения требуемой задачи.

Одним из обязательных критериев использования генетических алгоритмов является целевая функция, которая определяет количественное представление эффективности найденных решений. Предложенная целевая функция состоит из суммы 3 параметров:

1) количество расчетных величин пожарных рисков на территории ГРС, которые не превышают приемлемые значения;

2) приведенные затраты для осуществления мероприятий;

3) параметр среднего отклонения недопустимых расчетных величин пожарных рисков на территории ГРС и прилегающей к нему селитебной зоне от приемлемых значений.

Для определения количества величин пожарных рисков на территории ГРС, которые являются приемлемыми в рассматриваемом случае, используется следующая формула:

$$Q = \sum_{j=1}^J (\alpha(R_j)) + \sum_{m=1}^M (\beta(I_m)) + \gamma(S), \quad (7)$$

где

$$\alpha(R_j) = \begin{cases} 1, & x \leq R_a; \\ 0, & x > R_a \end{cases} \quad (8)$$

$$\beta(I_m) = \begin{cases} 1, & x \leq I_a; \\ 0, & x > I_a \end{cases} \quad (9)$$

$$\gamma(S) = \begin{cases} 1, & x \leq S_a; \\ 0, & x > S_a \end{cases} \quad (10)$$

R — итоговое значение индивидуального пожарного риска для работников ГРС;

J — количество работников на ГРС;

I — итоговое значение индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи ГРС;

M — количество объектов с людьми в селитебной зоне, прилегающей к ГРС;

S — итоговое значение величины социального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи ГРС;

R_a — допустимое значение величины индивидуального пожарного риска для работников ГРС; (10^{-6} год $^{-1}$ в соответствии с [16]);

I_a — допустимое значение величины индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи ГРС (10^{-8} год $^{-1}$ в соответствии с [16]);

S_a — допустимое значение величины социального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи ГРС (10^{-7} год $^{-1}$ в соответствии с [16]);

α — критерий приемлемости значения величины индивидуального пожарного риска для работников ГРС;

β — критерий приемлемости значения величины индивидуального риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи ГРС;

γ — критерий приемлемости значения величины социального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи ГРС;

Q — количество величин пожарных рисков, являющихся приемлемыми в рассматриваемом случае.

Приведенные затраты для осуществления мероприятий рассчитываются по формуле [17]

$$\Pi_i = K_i \cdot E_n + C_{эi}, \quad (11)$$

где Π_i — приведенные затраты i -го мероприятия, руб./год;

K_i — капитальные затраты для реализации i -го мероприятия;

$C_{эi}$ — эксплуатационные расходы i -го мероприятия.

Приведение заданных стоимостных показателей к текущему периоду времени производится путем умножения их на коэффициент сравнительной экономической эффективности дополнительных капитальных вложений (E_n), который был условно принят равным 0,2.

Параметр D отражает среднее отклонение недопустимых расчетных величин пожарных рисков на объекте защиты и в прилегающей к нему селитебной зоне от приемлемых значений. Данный параметр принимает значение от 0 до 1, используется

в случае, когда не все значения пожарных рисков являются приемлемыми, и служит для поиска точек территории нефтегазового объекта, где значения рисков будут наиболее сильно приближены к допустимым значениям:

$$D = \frac{A + B + C}{Z + Y + \gamma(S)}, \quad (12)$$

где

$$A = \frac{\sum_{z=1}^Z R_a / R_z}{Z}; \quad (13)$$

$$B = \frac{\sum_{y=1}^Y I_a / I_y}{Y}; \quad (14)$$

$$C = \begin{cases} \frac{S_a}{S}, & S > S_a; \\ 0, & S \leq S_a \end{cases} \quad (15)$$

где A — безразмерный параметр среднего отклонения недопустимых величин индивидуальных рисков на территории ГРС (меньших R_a) от допустимого значения (R_a);

R_z — значения величин недопустимых индивидуальных рисков на территории ГРС;

Z — количество недопустимых значений величин индивидуальных рисков на территории ГРС;

B — безразмерный параметр среднего отклонения недопустимых величин индивидуальных рисков в селитебной зоне (меньших I_a) от допустимого значения (I_a);

I_y — значения недопустимых расчетных величин индивидуальных рисков в селитебной зоне;

Y — количество недопустимых расчетных величин индивидуальных рисков в селитебной зоне;

C — безразмерный параметр отклонения величины социального риска в селитебной зоне от допустимого значения.

Данные критерии были согласованы в единую целевую функцию. Так как первоочередной задачей при оптимизации набора мероприятий по управлению пожарными рисками является безопасность, наибольший приоритет имеет параметр K . Следующим по важности является экономическая составляющая (Π). В спорных ситуациях, когда у нескольких комбинаций мероприятий параметры K и Π являются равными, а требуемые вели-

чины пожарных рисков являются недостижимыми, ключевым параметром является Q , который обеспечивает равномерное распределение зон риска на территории. Таким образом, целевая функция в разрабатываемой модели выглядит следующим образом:

$$f = (\max(Q), \min(\Pi), \max(D)). \quad (16)$$

В связи с большим количеством возможных комбинаций мероприятий генерация начальной популяции происходила по специальному алгоритму, учитывающему эффективность каждого мероприятия по отдельности.

В предлагаемом подходе генами хромосом являются мероприятия, поэтому хромосома содержит не двоичный набор данных, а массив с индикаторами каждого мероприятия, содержащегося в ней:

$$v = ([M_1], [M_2], [M_3], ..., [M_k]), \quad (17)$$

где M_1, M_2, M_3, M_k — идентификаторы мероприятий.

Для генерации начальной популяции используется метод колеса рулетки [18], в котором функция соответствия ($eval(M_k)$) определяется для каждого мероприятия в следующем порядке:

- 1) выбор одного мероприятия из базы данных (БД) решений по снижению рисков;
- 2) анализ объектов, к которым может быть применено это решение;
- 3) поочередный расчет целевой функции с рассматриваемым решением для каждого объекта;
- 4) сохранение результатов в информационный массив;
- 5) если проведен анализ всех мероприятий, то переход к пункту 6, иначе переход к пункту 1;
- 6) вывод всех возможных мероприятий с ранжированием в порядке убывания эффективности.

Следующим этапом является определение общей функции соответствия всех мероприятий (F):

$$F = \sum_{k=1}^K eval(M_k) - \min\{eval(M)\}, \quad (18)$$

где K — общее количество мероприятий.

Рассчитывается вероятность отбора (P_k) для каждого мероприятия M_k :

$$P_k = \frac{eval(M_k) - \min\{eval(M)\}}{F}, \quad (19)$$

где $k = 1, 2, \dots$, количество мероприятий.

Рассчитывается совокупная вероятность отбора q_k для каждого мероприятия (M_k):

$$q_k = \sum_{k=1}^K P_k. \quad (20)$$

Для отбора генов для хромосом был использован метод колеса. Каждый раз выбирается одно мероприятие по следующему алгоритму:

1) генерируется случайное число r в интервале $[0, 1]$;

2) если $r \leq q_1$, то выбираем первое мероприятие M_1 ; иначе k -е ($2 \leq k \leq K$), подходящее к условию $q_{k-1} \leq r \leq q_k$;

3) если выбранное мероприятие уже содержится в хромосоме, то возврат к пункту 1, иначе добавляем этот ген к хромосоме.

Таким образом генерируется одна хромосома, а для генерации популяции нужно проделать эти операции количество раз, равное количеству особей в популяции. В результате одна хромосома является комбинацией мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков.

Функция соответствия оценивает хромосомы по степени их приспособленности к выполнению критерия оптимизации.

Оценка функции соответствия хромосомы выполняется в три шага:

1) преобразовать генотип хромосомы в фенотип, в данной задаче это означает поиск мероприятий в базе данных по идентификаторам в хромосоме $n^k = (M^k)$, $k = 1, 2, \dots, pop_size$, где pop_size — число мероприятий в исходной популяции;

2) вычислить целевую функцию;

3) преобразовать целевую функцию в значение функции соответствия. Для решаемой задачи оптимизация функции соответствия эквивалентна целевой функции:

$$eval(v_k) = f(n^k), k = 1, 2, \dots, pop_size. \quad (21)$$

Для отбора хромосом (комбинаций мероприятий) использовался уже описанный метод, называемый колесо рулетки. Процесс отбора происходит следующим образом:

1) вычислить значение функции соответствия $eval(v_k)$ для каждой хромосомы v_k по формуле (21);

2) вычислить общую функцию соответствия популяции:

$$F = \sum_{k=1}^{pop_size} eval(v_k) - j = 1, \min_{pop_size} \{eval(v_j)\}, \quad k = 1, 2, \dots, pop_size; \quad (22)$$

3) вычислить вероятность отбора P_k для каждой хромосомы v_k :

$$P_k = \frac{eval(v_k) - j = 1, \min_{pop_size} \{eval(v_j)\}}{F}, \quad k = 1, 2, \dots, pop_size. \quad (23)$$

4) вычислить совокупную вероятность q_k для каждой хромосомы v_k :

$$q_k = \sum_{j=1}^k P_j, k = 1, 2, \dots, pop_size. \quad (24)$$

Процесс отбора начинается с вращения колеса pop_size раз; при этом каждый раз выбирается одна хромосома по следующему алгоритму:

1) генерируется случайное число r из интервала $[0, 1]$;

2) если $r \leq q_1$, то выбираем первую хромосому v_1 ; иначе выбираем k -ю хромосому ($2 \leq k \leq pop_size$) такую, что $q_{k-1} \leq r \leq q_k$.

Для скрещивания хромосом используется популярный на практике метод с одной точкой обмена [19, 20]. В соответствии с этим методом случайно выбирается одна точка обмена, относительно которой меняются местами части хромосом-родителей. Для этого генерируется целое число в промежутке $[1, pop_size]$, которое будет точкой обмена генами.

Мутация состоит в изменении одного или большего числа генов с вероятностью, равной коэффициенту мутации. В отличие от классической модели генетических алгоритмов для создания комбинаций из разного количества мероприятий была добавлена вероятность случайного удаления одного гена из хромосомы (75%).

3. Место алгоритма поиска комбинации мероприятий, направленных на снижение величин пожарных рисков в системе управления пожарными рисками

Для более наглядного представления предложенной модели поиска комбинации мероприятий, направленных на снижение величин пожарных рисков, в системе управления пожарными рисками нефтегазовых объектов разработан обобщенный алгоритм функционирования системы управления пожарными рисками (рис. 2).

Таким образом, в ходе своей работы предложенная модель включается при превышении значениями пожарных рисков нормативных значений и останавливается при определении оптимального мероприятия (набора мероприятий) или при достижении максимального количества итераций. Разработанный алгоритм имеет прямой доступ к базе данных и расчетному блоку ИС *FireRisks*, что позволяет алгоритму качественно проводить необходимые расчеты, оценивать полученные результаты и выводить отчет о своей работе пользователю для принятия окончательных решений.

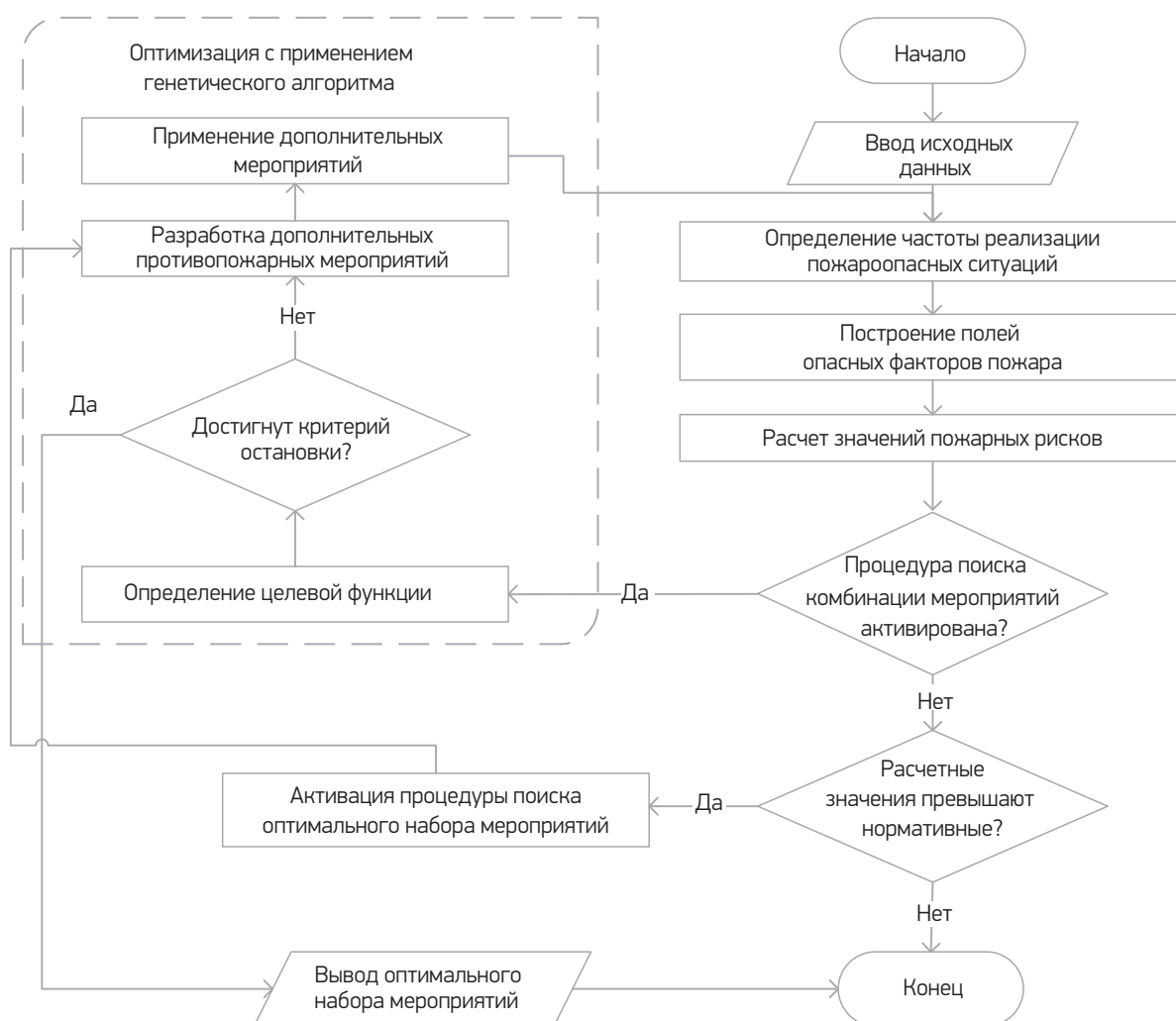


Рис. 2. Алгоритм функционирования системы управления пожарными рисками с учетом оптимизации мероприятий на основе генетического алгоритма

4. Анализ эффективности полученной модели

В соответствии с решаемыми задачами создан специальный web-интерфейс (рис. 3), позволяющий проводить компьютерное моделирование и анализ эффективности полученной модели. Данный интерфейс содержит элементы, позволяющие производить запуск моделирования и поиска комбинаций в интерактивном виде, а также содержит вспомогательные элементы.

Анализ эффективности модели проходил в несколько этапов с использованием представленной целевой функции. На первом этапе были оценены параметры Q и D целевой функции при использовании каждого мероприятия по отдельности (табл. 3).

На следующем этапе проводился поиск комбинаций мероприятий при помощи предложенной

модели с целью ее анализа и подбора наилучших параметров. Критерием остановки поиска была выбрана ситуация, когда в комбинации остается только одно мероприятие. После ряда вычислительных экспериментов были определены следующие оптимальные настройки генетического алгоритма:

- вероятность скрещивания — 80%;
- вероятность мутации — 30%;
- вероятность удаления гена из хромосомы (мероприятия из набора) — 75%.

Для создания высокой вариативности комбинаций мероприятий был выбран высокий процент скрещивания (90%) и мутации (30%). После ряда экспериментов было выявлено, что вероятность удаления гена из хромосомы (мероприятия из набора) значительно влияет на время подбора, при этом качество подобранных комбинаций до определенного момента не меняется (рис. 4). Поэтому

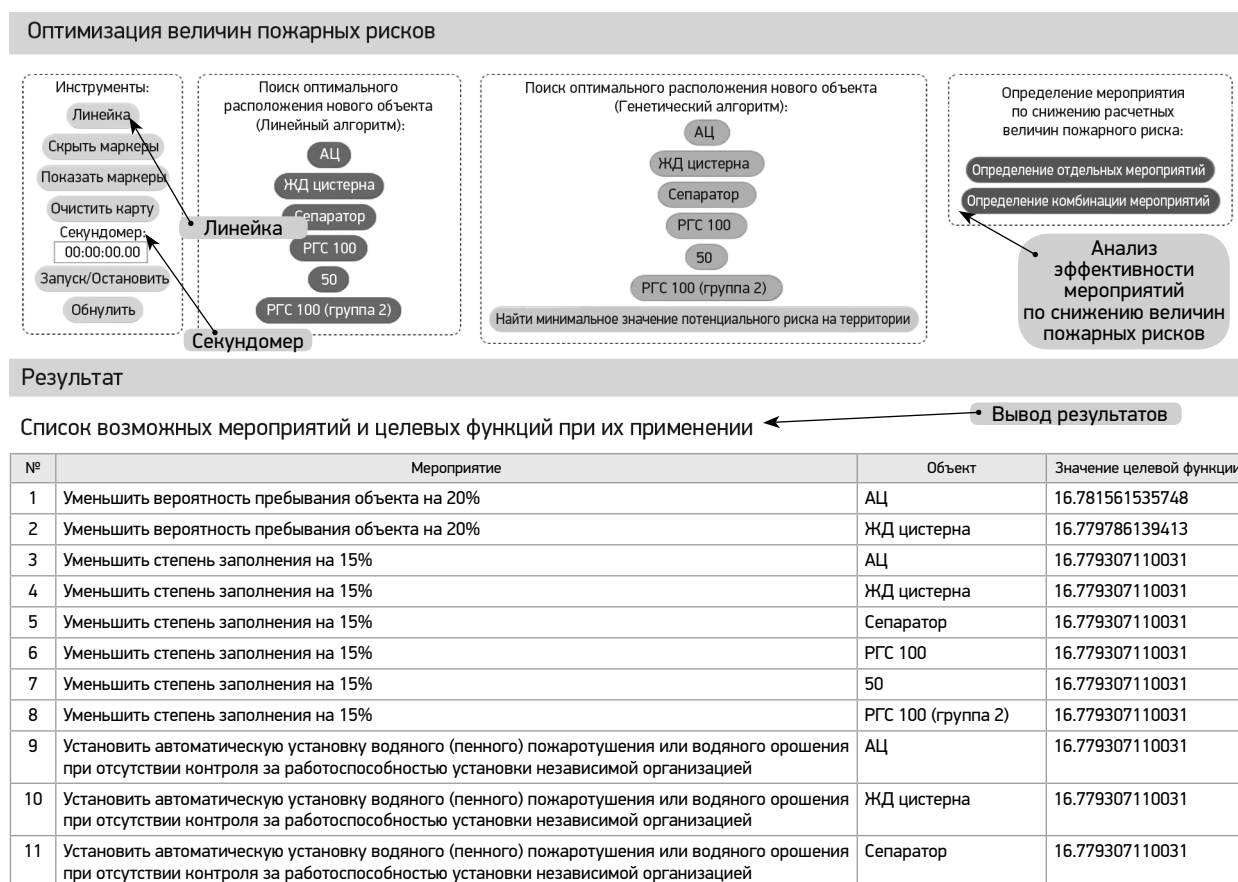


Рис. 3. Визуальный web-интерфейс блока для проведения вычислительных экспериментов на основе предложенной модели

Список возможных мероприятий и параметров целевой функции Q и D при их применении

Таблица 3

№	Мероприятие	Объект	Q	D
1	Уменьшить вероятность пребывания объекта на 20%	АЦ	16	781 561 535 748
2		ЖД цистерна	16	779 786 139 413
3	Уменьшить степень заполнения на 15%	АЦ	16	779 307 110 031
4		ЖД цистерна	16	779 307 110 031
5		Сепаратор	16	779 307 110 031
6		РГС 100	16	779 307 110 031
7		50	16	779 307 110 031
8		РГС 100 (группа 2)	16	779 307 110 031
9	Установить автоматическую установку водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	АЦ	16	779 307 110 031
10		ЖД цистерна	16	779 307 110 031
11		Сепаратор	16	779 307 110 031
12		РГС 100	16	779 307 110 031
13		50	16	779 307 110 031
14		РГС 100 (группа 2)	16	779 307 110 031
15	Установить автоматическую пожарную сигнализацию	АЦ	16	788 404 842 408
16		ЖД цистерна	16	781 226 809 106
17		Сепаратор	16	790 786 801 193
18		РГС 100	17	870 910 212 155
19		50	17	953 271 699 395
20		РГС 100 (группа 2)	17	974 221 794 362
21	Установить автоматическую установку пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организации (вне зависимости от типа установки пожаротушения)	АЦ	16	779 307 110 031
22		ЖД цистерна	16	779 307 110 031
23		Сепаратор	16	779 307 110 031
24		РГС 100	16	779 307 110 031
25		50	16	779 307 110 031
26		РГС 100 (группа 2)	16	779 307 110 031
27	Установить остальные типы автоматических установок пожаротушения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	АЦ	16	779 307 110 031
28		ЖД цистерна	16	779 307 110 031
29		Сепаратор	16	779 307 110 031
30		РГС 100	16	779 307 110 031
31		50	16	779 307 110 031
32		РГС 100 (группа 2)	16	779 307 110 031
33	Установить отбортовку 30 м ²	АЦ	16	779 307 110 031
34		ЖД цистерна	16	779 307 110 031
35		Сепаратор	16	779 307 110 031

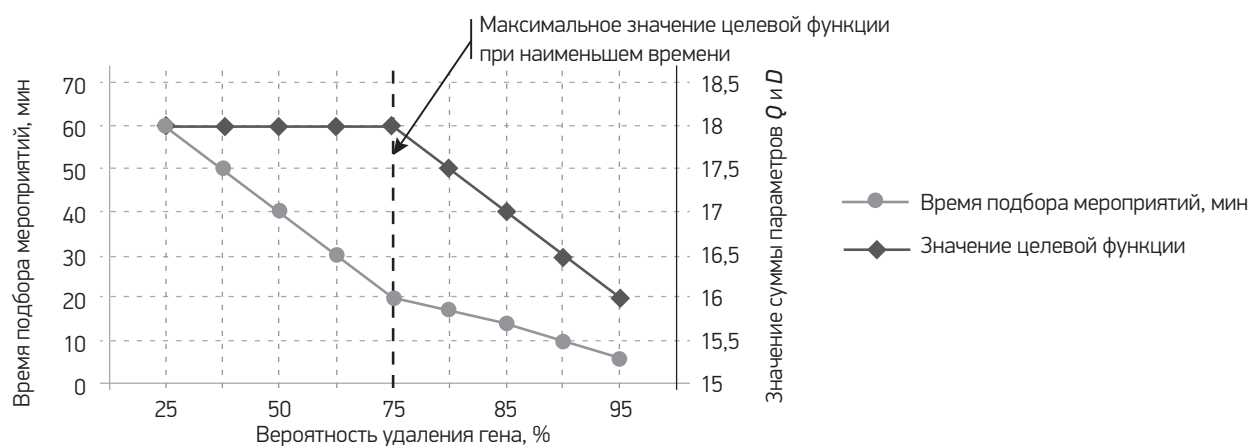


Рис. 4. Зависимость времени подбора комбинаций мероприятий и суммы параметров целевой функции Q и D от вероятности удаления гена из хромосомы

вероятность удаления гена из хромосомы была принята равной 75%.

Мутация 30% особей была выбрана с учетом того, что при этом значении увеличивается вариативность предлагаемых комбинаций мероприятий, что ведет к увеличению качества результатов работы алгоритма. Использование показателя ниже 30% ведет к уменьшению вариативности рассматриваемых комбинаций и ухудшению качества результатов. При увеличении вариативности также наблюдается снижение качества алгоритма (рис. 5).

После проведения подбора мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков с использованием предложенной модели определен список возможных комбинаций. Из них была сформирована таблица со списками самых эффективных комбинаций при разном количестве мероприятий (табл. 4).

Время выполнения подбора мероприятий составило чуть более 21 мин. Предложенная модель всегда находила комбинации мероприятий с высоким значением целевой функции, хотя при подборе ком-

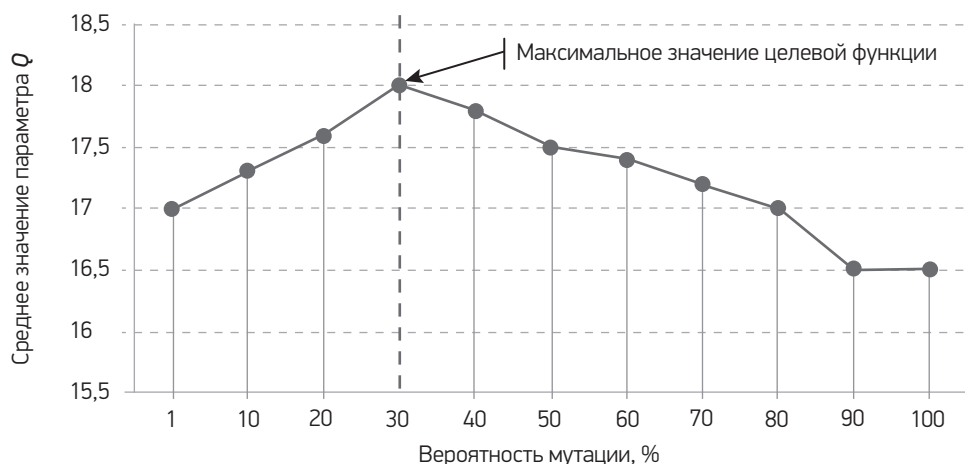


Рис. 5. Зависимость среднего значения суммы параметров целевой функции Q и D от вероятности мутации

Ранжирование комбинаций мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков при различном количестве решений в них

Таблица 4

Количество мероприятий	Номера решений по табл. 3	Q	D	П
10	7, 8, 1, 2, 15, 18, 19, 26, 27, 33	18	0	2,42X
9	7, 8, 1, 2, 15, 18, 19, 26, 27	18	0	2,38X
8	5, 1, 15, 17, 18, 19, 22, 24	18	0	2,24X
7	7, 1, 2, 15, 18, 19, 26	18	0	1,88X
6	5, 1, 15, 18, 19, 22	18	0	1,58X
5	5, 16, 18, 20, 10	18	0	1,05X
4	1, 15, 16, 19	18	0	1,03X
3	5, 15, 16	18	0	0,62X
2	7, 15	17	98 008 751 519	0,46X

бинаций возможны варианты с большим количеством мероприятий, но низким значением целевой функции. Например, при комбинации мероприятий № 3, 4, 5, 6, 1, 16, 21, 24, 10, 11 параметры целевой функции равняются: $Q = 16$, $D = 783\,492\,520\,786$, $\Pi = 3,2X$. Несмотря на то что в табл. 5 при разном количестве мероприятий в комбинации представлен лишь один вариант набора мероприятий, программа может выводить множество альтернативных вариантов комбинаций с высоким значением целевой функции при требуемом количестве мероприятий в одной комбинации.

Заключение

Представлена математическая модель оптимизации мероприятий для управления пожарными рисками на территории нефтегазовых объектов с использованием концепции генетических алгоритмов с модификациями для решения поставленной задачи:

1) вместо использования бинарной строки используется хромосома, гены которой являются идентификаторами мероприятий для управления пожарными рисками;

2) начальная популяция генерируется по специально разработанному алгоритму;

3) для создания наборов из различного количества мероприятий используется измененная операция мутации, заключающейся в случайном исключении одного из генов хромосомы.

Эффективность полученной модели была апробирована на основе ИС *FireRisks*, в результате чего

сделан вывод, что одним из главных преимуществ предложенного подхода является значительное уменьшение количества расчетных операций, что, в свою очередь, решает задачу оптимизации мероприятий по управлению пожарными рисками на производственных объектах с использованием современных информационных систем.

Представленная модель помимо значительного уменьшения необходимого времени для проведения анализа эффективности разных комбинаций мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков обладает достаточно высокой вариативностью предлагаемых вариантов.

В настоящее время проводится объединение созданных моделей в единую систему интеллектуальной поддержки принятия решения по управлению пожарными рисками на объектах нефтегазового комплекса.

Литература

1. Гудин С.В., Хабибуллин Р.Ш., Рубцов Д.Н. Проблемы управления пожарными рисками на территории объектов нефтепереработки с использованием современных программных продуктов // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, № 12. С. 40—45. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.40—45.
2. Семенов С.Г., Крамаренко Л.А., Чесноков А.В. Анализ критериев оптимизации мероприятий по радиационной защите персонала при выводе из эксплуатации исследовательского реактора // Проблемы анализа риска. 2016. Т. 13. № 2. С. 72—79.

3. Рябинин И.А. Логико-вероятностный анализ и его история // Проблемы анализа риска. 2014. Т. 11. № 3. С. 6—12.
4. Соложенцев Е.Д. Логико-вероятностное управление риском невалидности доводочных испытаний машин, процессов и систем // Проблемы анализа риска. Т. 7. 2010. № 4. С. 72—85.
5. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1996. 196 с.
6. Стенли Р. Перечислительная комбинаторика. М.: Мир, 1990. С. 51.
7. Хабибулин Р.Ш., Гудин С.В. Система поддержки управления пожарной безопасностью крупных производственных объектов нефтегазовой и нефтехимической отрасли // Безопасность в техносфере: Сб. ст. / Науч. ред. В.М. Колодкин. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. С. 69—72.
8. Panov N.V., Shary S.P. Interval evolutionary algorithm search the global optimum. News of Altai State University. 2011. № 12.
9. Schaefer I.A. Youth and Science: Proceedings of the VIII All Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists dedicated // Investigation of the efficiency of genetic algorithm constrained optimization. 2012.
10. Martorell S., Villanueva J.F., Carlos S., Nebot Y., Sánchez A., Pitarch J.L. & Serradell V. (2005). RAMS+ C informed decision-making with application to multi-objective optimization of technical specifications and maintenance using genetic algorithms. Reliability Engineering & System Safety, 87(1), 65—75.
11. Ramirez A.J., Knoester D.B., Cheng B.H., & McKinley P.K. Applying genetic algorithms to decision making in autonomic computing systems. Paper presented at the Proceedings of the 6th international conference on Autonomic computing. 2009.
12. Фундаментальные проблемы науки: сборник статей Международной научно-практической конференции (20 апреля 2015 г.) Уфа: АЭТЕРНА, 2015.
13. Desideri J.A., Peigin S., Timchenko S. Application of genetic algorithm to space vehicle reentry trajectory optimization problem. Inria. 1999. № 3843.
14. Michalewicz Z. Genetic algorithms + data structures = evolution programs. Springer-Verlag, 1992.
15. Holland J.N. Adaptation in Natural and Artificial Systems // Univ. Michigan Press, 1975.
16. Приказ МЧС РФ от 10.07.2012 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
17. Присяжнюк Н.Л., Александров Г.В., Кузьмичев И.И., Кузнецова Е.С., Соловьева Т.Н. Экономика пожарной безопасности: Учеб. пособие / Под общ. ред. Н.Л. Присяжнюка. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 204 с.
18. Gen M., Cheng R. Genetic Algorithms and Engineering design. John Wiley & Sons, 1997. 352 pp.
19. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 264—275 с.
20. Белевцев А.М., Дружинин М.А. Разработка и исследование адаптивного поискового алгоритма для решения многоэкстремальных задач оптимизации информационных процессов в информационных системах с распределенной обработкой данных // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2012. № 5.

Сведения об авторах

Гудин Сергей Витальевич: адъюнкт кафедры информационных технологий Академии ГПС МЧС России

Количество публикаций: 10

Область научных интересов: 07-956 Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений

Контактная информация:

Адрес: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4

Тел.: +7 (495) 617-29-78

E-mail: sergey.gudin@firerisks.ru

Хабибулин Ренат Шамильевич: кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры информационных технологий Академии ГПС МЧС России

Количество публикаций: 55, в том числе монографий, учебных изданий

Область научных интересов: 07-956 Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений

Контактная информация:

Адрес: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4

Тел.: +7 (495) 617-29-27

E-mail: kh-r@yandex.ru