

УДК 004.021

**АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ
КОГНИТИВНЫХ КАРТ**

**ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF TECHNOSPHERIC SAFETY
CONTROL ALGORITHMS BASED ON FUZZY COGNITIVE MAPS**

**Кирилл Сергеевич Первов, Фаниль Шамильевич Хафизов,
Денис Владимирович Васильев, Инна Владимировна Озден**

**Kirill S. Pervov, Fanil Sh. Khafizov, Denis V. Vasilyev,
Inna V. Ozden**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа,
Россия**

**Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
e-mail: i.denis.vasilyev@gmail.com**

Аннотация. Выполнены прямая и обратная постановки задачи оптимизации управления состоянием объекта в условиях чрезвычайной ситуации, заключающиеся в выделении оптимального количества средств защиты и эффективном распределении этих средств защиты. Предложен метод поиска оптимальных решений по управлению в ситуации повышенной опасности с использованием генетического алгоритма. На примере химически опасного объекта выполнена оценка эффективности алгоритма управления на основе анализа риска с использованием генетических алгоритмов и нечетких когнитивных карт. Разработана структура системы поддержки принятия решений, интегрируемая в состав автоматизированной информационно-управляющей системы управления по чрезвычайным ситуациям при правительстве Республики Башкортостан, включающая базу знаний с нечеткими правилами и модуль выработки

планов действий по ликвидации последствий чрезвычайной ситуации на базе генетических алгоритмов и определена эффективность практического применения системы поддержки принятия решений.

Abstract. The direct and inverse formulations of the problem of optimizing the object state control in an emergency which consist in the allocation of the optimal number of protection means and the effective distribution of these protection means are performed. A method for finding optimal control solutions in a situation of increased danger using a genetic algorithm is proposed. On the example of a chemically hazardous object, the effectiveness of the control algorithm based on risk analysis using genetic algorithms and fuzzy cognitive maps was evaluated. The structure of the decision support system has been developed, which is integrated into the automated information and control system for Emergency Management Office under the Government of the Republic of Bashkortostan. It includes a knowledge base with fuzzy rules and a module for developing action plans to eliminate the consequences of an emergency situation based on genetic algorithms and the effectiveness of the practical application of the decision support system.

Ключевые слова: задача оптимизации, чрезвычайная ситуация, генетический алгоритм, эффективность алгоритмов, нечеткие когнитивные карты, система поддержки принятия решений

Keywords: optimization problem, emergency, genetic algorithm, algorithm efficiency, fuzzy cognitive maps, decision support system

Постановка задачи управления в чрезвычайной ситуации

Для наглядного представления механизмов воздействия угроз, оценки их последствий и выбора способов управления защитой объекта представим нечеткую когнитивную карту (НKK) процессов принятия решений для

управления состоянием объекта в виде модели Клементса-Хоффмана [1], имеющей вид трехдольного графа (рисунок 1).

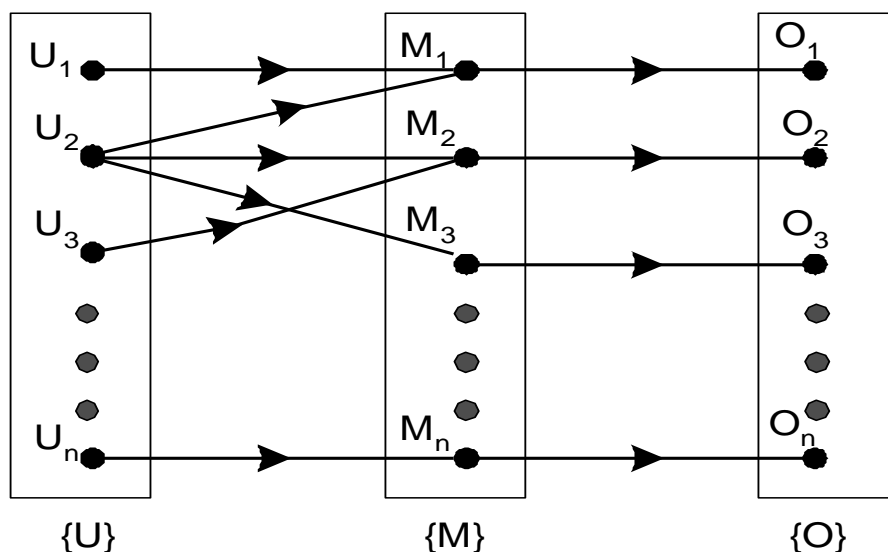


Рисунок 1. Модель для оценки эффективности защиты объекта

Figure 1. Model for assessing the effectiveness of object protection

Здесь $\{U\} = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ – множество угроз (дестабилизирующих факторов X_i^U); $\{M\} = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ – множество средств (способов) защиты элементов объекта от действия угроз (X_i^R); $\{O\} = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ – множество объектов защиты (элементов объекта X_i). Для простоты на рисунке не показаны связи между различными компонентами объекта, то есть между O_1, O_2, \dots, O_n .

Для определения риска (т.е. среднего ожидаемого ущерба в объекте при действии n угроз U_1, U_2, \dots, U_n) при отсутствии средств защиты можно воспользоваться следующей формулой:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{U_j} \cdot \Delta X_i^{*(j)}, \quad (1)$$

где P_{U_j} – вероятность возникновения j -ой угрозы U_j ;

$\Delta X_i^{*(j)}$ – потери в i -ом компоненте объекта от действия j -ой угрозы.

Выражение (1) характеризует уровень риска, являющегося количественной характеристикой незащищенности объекта от действия угроз, мерой предрасположенности (податливости) объекта к возникновению чрезвычайной ситуации (ЧС).

Для снижения потерь от ЧС необходимо предпринимать следующие меры:

- а) предупреждать возможные проявления угроз;
- б) уменьшать количество и «прозрачность» уязвимых мест;
- в) добиваться снижения потерь (ущерба) в случае возникновения ЧС.

Данные подходы являются частью общей теории управления риском и предполагают использование следующих методов управления объектом в ЧС:

- – построение специальных защитных барьеров на пути воздействия угроз (дестабилизирующих факторов);
- – выбор новых технологий, организационных решений, повышение дисциплины труда и т.п. с целью недопущения «прохождения» угрозы на объект;
- – улучшение (изменение, реконфигурация) структуры объекта с целью снижения нежелательного (опасного) влияния друг на друга компонентов объекта и др. [2, 3].

Очевидно, что каждый из перечисленных методов основан на внедрении специальных средств защиты объекта. Полагая, что эффективность средств защиты M_i зависит главным образом от величины вкладываемых ресурсов (т.е. стоимости этих средств) S_i , можно оценить ожидаемый уровень риска для объекта от возникновения ЧС как:

$$\tilde{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{U_i} \cdot e^{-\gamma_j S_i} \cdot \Delta X_i^{*(j)}, \quad (2)$$

где сомножитель $e^{-\gamma_i S_i}$ характеризует вероятность преодоления средств защиты M_i (*уязвимость объекта*);

$\gamma_i > 0$ – показатель эффективности вложения ресурсов S_i в i -ое средство защиты;

S_i – ресурсы (затраты), выделяемые на внедрение средств защиты i -го элемента объекта.

Целью управления риском является нахождение таких ресурсов S_i , что:

1) уровень риска $\tilde{R} \rightarrow \min$ при затратах $\sum_{i=1}^n S_i \leq S_{зад}$, где

$S_{зад}$ – заданный объем выделяемых ресурсов на обеспечение защиты объекта;

или

2) общие затраты (выделенные ресурсы) $\sum_{i=1}^n S_i \rightarrow \min$ при $\tilde{R} \leq R_{дон}$,

где $R_{дон}$ – допустимый уровень риска (потерь) от возникновения ЧС.

Перечисленные формулировки отражают прямую и обратную постановки задачи оптимизации управления состоянием объекта в условиях ЧС. По существу, речь идет о решении двух различных по своей сути задач:

- *выделения* средств защиты (когда определению подлежат ресурсы S_i , обеспечивающие максимальную эффективность защиты объекта);

- *распределения* средств защиты (когда требуется найти оптимальные значения S_i в пределах заданного суммарного ресурса $S_{зад}$).

Размер необходимых ресурсов для защиты i -го элемента объекта в условиях ЧС в первом случае определяется выражением:

$$(S_i)_{opt} = -\frac{1}{\gamma_j} \ln \frac{1}{R \cdot \gamma_j}, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

Во втором случае – решение задачи оптимизации принимает вид

$$(R_i)_{opt} = -\frac{1}{\gamma_i \cdot e^{-\gamma_i S_i}}, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (4)$$

Однако при выводе формулы (4) не учитывались взаимосвязи между элементами объекта, что представляется очень важным для реальных геотехнических объектов (ГТО).

Синтез и моделирование алгоритмов управления в ЧС на основе НКК

На рисунке 2 приведена схема чрезвычайной ситуации как объекта управления. Здесь вектор управляющих воздействий включает в себя затраты S_i на выделение ресурсов для локализации ЧС, с помощью которых обеспечивается изменение связей между концептами ($W_{ij} \rightarrow W_{ij}^*$). В данном случае W_{ij}^* – требуемое значение веса связи W_{ij} , обеспечивающее переход $X_j \rightarrow X_j^*$, где X_j^* – допустимое значение переменной состояния j -го концепта.

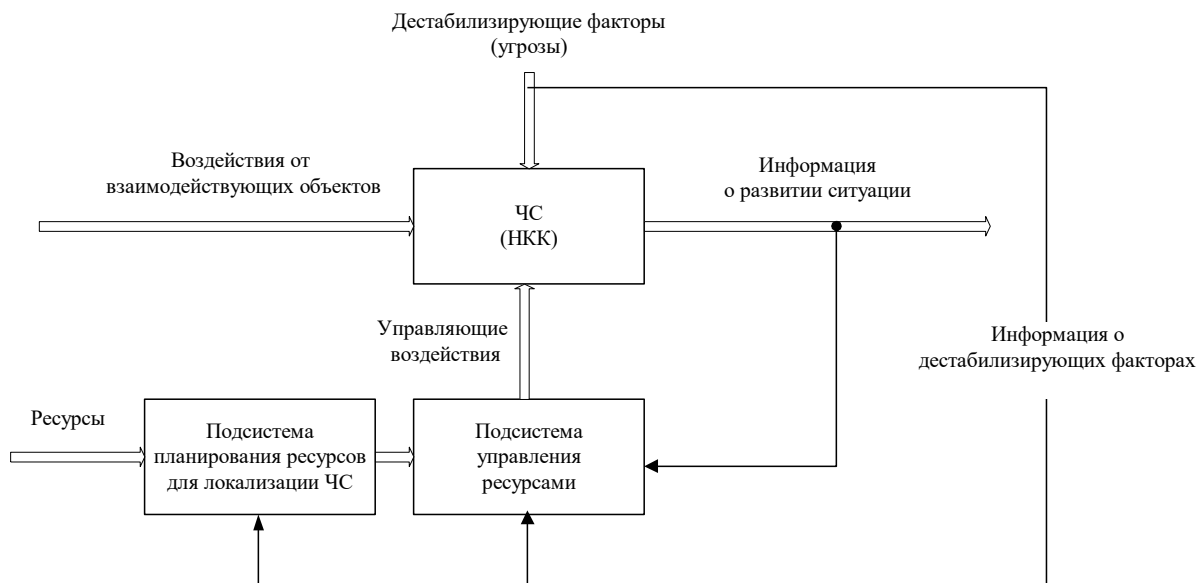


Рисунок 2. Чрезвычайная ситуация как объект управления

Figure 2. Emergency situation as a control object

В данном случае задача оптимизации сводится к определению таких настроек (отклонений) $\Delta W_{ij} = W_{ij}^* - W_{ij}$, которые удовлетворяют условиям

$$(\Delta W_{ij})_{\min} \leq \Delta W_{ij} \leq (\Delta W_{ij})_{\max};$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i(\Delta W_{ij}) \leq R^*; \quad (5)$$

и обеспечивают минимум целевой функции

$$\bar{S} = \sum_{i,j} S_i(\Delta W_{ij}) \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $(\Delta W_{ij})_{\min}$ и $(\Delta W_{ij})_{\max}$ – допустимые пределы изменения ΔW_{ij} ;

R^* – допустимый уровень риска;

целевая функция \bar{S} отражает необходимые затраты на снижение риска R .

Поиск решения поставленной задачи можно выполнить с помощью генетического алгоритма. Блок-схема решения задачи в данном случае будет иметь вид, представленный на рисунке 3.

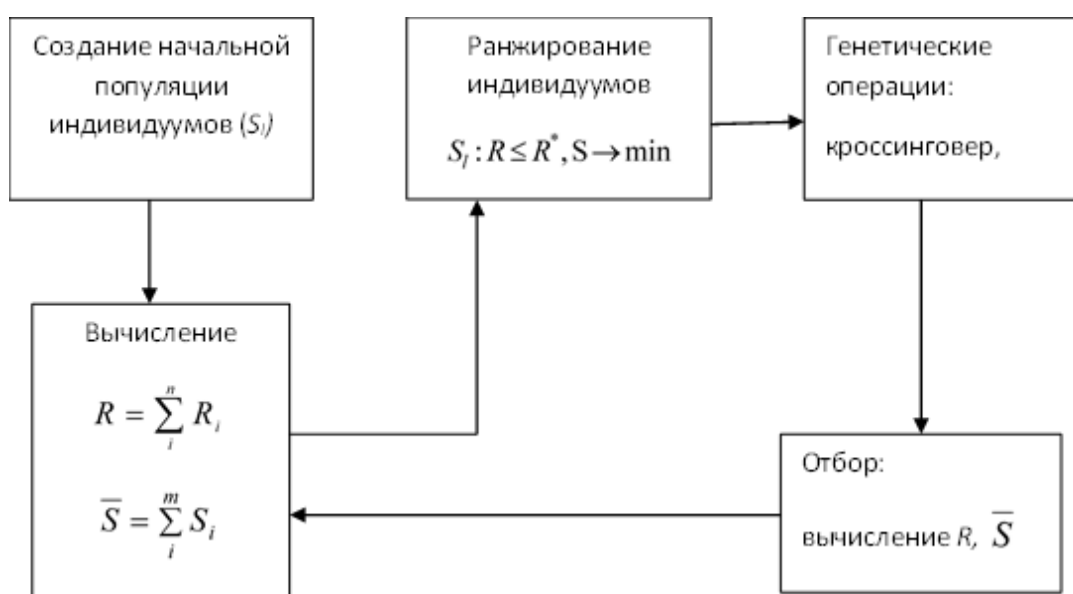


Рисунок 3. Блок-схема поиска оптимальных решений с помощью генетического алгоритма

Figure 3. Block diagram of the search for optimal solutions using genetic algorithm

Результаты, полученные с помощью генетического алгоритма, позволяют определить оптимальный объем привлекаемых ресурсов для снижения уровня риска (а следовательно, и потерь) при ЧС.

Моделирование сценариев развития ЧС

Сценарий – это совокупность тенденций, характеризующих ситуацию в настоящий момент, желаемых целей развития, комплекса мероприятий и системы наблюдаемых параметров (факторов). Для моделирования сценария развития ЧС прежде всего задаются начальные условия, определяющие состояние ситуации на начальный момент времени:

$$S(0) = \langle X(0), X^u(0), X^G(0) \rangle,$$

где используются обозначения:

$X(t)$ – вектор переменных состояния объекта;

$X^u(t)$ – вектор переменных дестабилизирующих факторов;

$X^G(t)$ – вектор переменных возможных объектов поражения.

Процедура моделирования сценариев развития ЧС приведена на рисунке 4.

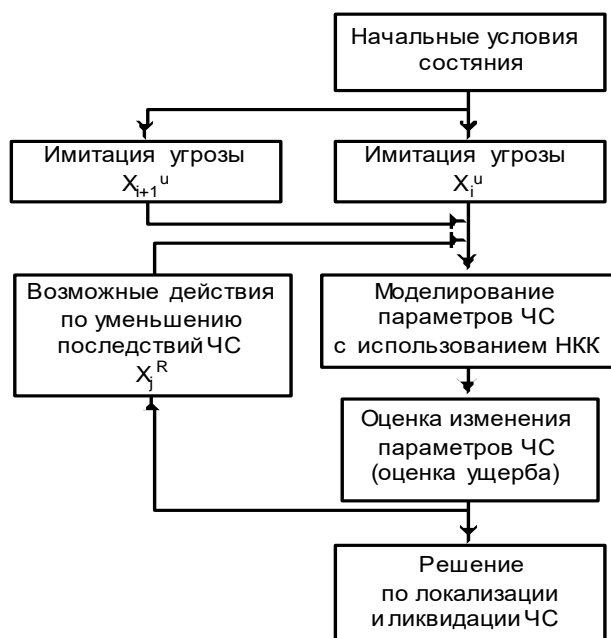


Рисунок 4. Процедура моделирования сценариев развития ЧС

Figure 4. The procedure for modeling emergencies development scenarios

После задания начальных условий имитируется воздействие угрозы (или ряда угроз) на объект.

В зависимости от степени изменения переменных состояния объекта определяются необходимые действия по стабилизации ситуации, предотвращению распространения неблагоприятных тенденций изменения состояния объекта. Выбор действий может определяться по критериям «затраты–потери», «затраты–ущерб» и др.

Порядок моделирования сценариев развития ЧС (рисунок 5) может быть представлен в виде сети Петри.

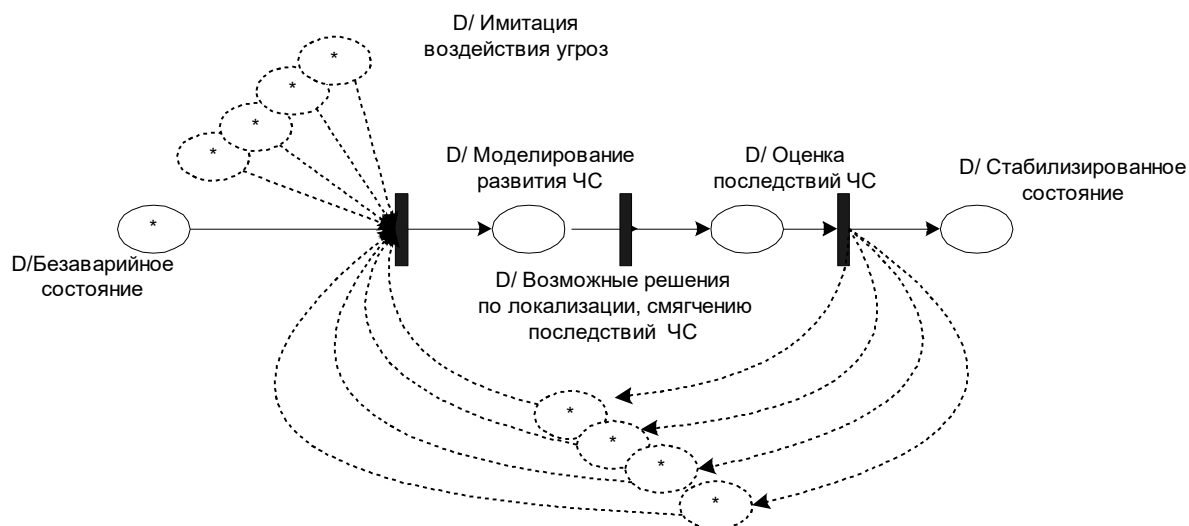


Рисунок 5. Моделирование сценариев развития ЧС

Figure 5. Modeling scenarios of emergencies

Из рисунка 5 видно, что независимо от числа реализовавшихся угроз для обеспечения локализации или смягчения последствий ЧС могут предлагаться сразу несколько управленческих решений.

Сущность моделирования сценариев ЧС состоит в предварительном расчете последствий наиболее вероятных и опасных ЧС, а также в предварительном формировании возможных алгоритмов действий по локализации, ликвидации или смягчению последствий от моделируемых ЧС. Полученные результаты моделирования могут использоваться для

обучения персонала, привлекаемого к локализации или ликвидации ЧС, для оценки эффективности их действий. На основе данных о возможных последствиях ЧС определяются размеры финансовых и материально-технических резервов, необходимых для локализации и ликвидации ЧС.

На сегодняшний день сценарный подход при моделировании и прогнозировании ЧС успешно используется многими структурными подразделениями МЧС РФ.

Оценка эффективности алгоритмов управления в ЧС на основе анализа риска

Рассмотрим задачу оценки эффективности управляющих воздействий на фрагменте (рисунок 6) НКК для установки сжижения хлора.

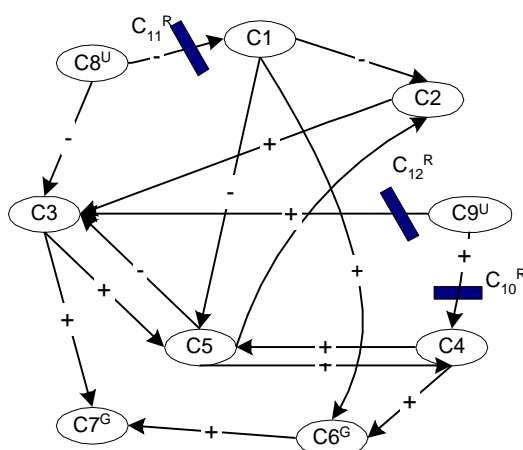


Рисунок 6. Фрагмент НКК состояния химически опасного объекта

Figure 6. Fragment of the FCM state of a chemically hazardous object

Здесь в роли дестабилизирующих факторов (угроз) представлены концепты C_8^U и C_9^U , соответствующие угрозы имеют вероятность возникновения $P_8^U = P_9^U = 1 \cdot 10^{-8}$ [4]. Концепты, характеризующие источники возникновения чрезвычайных ситуаций обозначены C_1, \dots, C_5 . Возможные объекты поражения обозначены концептами C_6^G и C_7^G , а концепты C_{10}^R, C_{11}^R ,

C_{12}^R представляют управляющие воздействия, включающие как превентивные, так и оперативные мероприятия.

С учетом инерционности изменения переменных состояния X_i приведенную на рисунке 6 НКК можно представить в виде следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{X}_1 = a_1 \cdot X_1 + a_{21} \cdot X_2 + \dots + a_{n1} \cdot X_n \\ \dot{X}_2 = a_{21} \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_{n2} \cdot X_n \\ \dots \\ \dot{X}_6 = a_{16} \cdot X_1 + a_{26} \cdot X_2 + \dots + a_{n6} \cdot X_n \end{cases} \quad (7)$$

Здесь X_i – переменная состояния концептов, $i = 1, 2, \dots, n$, в рассматриваемом примере $n = 9$;

a_{ji} – коэффициент, характеризующий силу связи между i -ым и j -ым концептами;

a_j – числовой коэффициент, характеризующий инерционность j -го концепта.

Из формулы (2) видно, что сомножитель $e^{-\gamma_i S_i}$ характеризует вероятность «неэффективности» управляющих воздействий, возможность преодоления средств защиты M_i , т.е. *уязвимость объекта*. Механизм действия концептов C_{10}^R , C_{11}^R , C_{12}^R , характеризующих управляющие воздействия, заключается в изменении силы связей a_{ji} и представляется в виде представленного выше коэффициента $e^{-\gamma_i S_i}$. В таком случае системная модель (7) с учетом имеющихся значений a_{ji} примет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{X}_1 = a_1 \cdot X_1 + a_{81}(e^{-\gamma \cdot S_{11}}) \cdot X_9 \\ \dot{X}_2 = a_{21} \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_{52} \cdot X_5 \\ \dots \\ \dot{X}_6 = a_{16} \cdot X_1 + a_{46}(e^{-\gamma \cdot S_{10}}) \cdot X_4 + a_6 \cdot X_6 \end{cases} \quad (8)$$

Здесь S_i – затраты (в рублях) на реализацию управляющих воздействий.

Изменение переменных состояний объекта, модель которого представлена НКК (рисунок 6), с учетом (8) можно описать следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = 0,033x_1 - 0,033(2e^{-\gamma_1 Q_{11}} - e^{-2\gamma_1 Q_{11}})x_8; \\ \dot{x}_2 = 0,033x_2 - 1,376x_1 + 1,4x_5; \\ \dot{x}_3 = 0,033x_3 + x_8 + 0,2x_8 - 0,233x_5 + (2e^{-\gamma_2 Q_{12}} - e^{-2\gamma_2 Q_{12}})x_9; \\ \dot{x}_4 = 0,033x_4 + 0,6x_2 + x_9 - 0,633x_5; \\ \dot{x}_5 = 0,033x_5 - 0,833x_1 + 0,4x_3 + 0,4x_4; \\ \dot{x}_6 = 0,4x_6 + 0,2(2e^{-\gamma_3 Q_{10}} - e^{-2\gamma_3 Q_{10}})x_4 - 0,2x_1; \\ \dot{x}_7 = 0,2x_7 - 0,1x_6 + 0,1x_3. \end{array} \right. , (9)$$

где $Q_j = S_j/S_{j\text{НОМ}}$ – нормированное значение затрат на реализацию j -го средства защиты, $S_{j\text{НОМ}}$ – номинальная стоимость ресурсов (затрат), выделяемых на внедрение средств защиты j -го элемента объекта;

$$2e^{-\gamma_i Q_j} - e^{-2\gamma_i Q_j} \quad (10)$$

– показатель эффективности вложения ресурсов S_j i -е средство защиты;

S_{81} – ресурсы, выделяемые на обучение персонала;

S_{93} – ресурсы, выделяемые на модернизацию оборудования;

S_{46} – ресурсы, выделяемые на установку водяных завес в случае выброса хлора.

На рисунке 7 представлена зависимость эффективности вложения ресурсов S_j в i -е средство защиты от объемов вложения (см. выражение (10)).

Для определения эффективности управляющих воздействий необходимо задать начальные состояния концептов $X_i(0)$, имитировать воздействие угроз C_i и задать область допустимых значений для S_i . Для реализации выбора наиболее эффективных решений с использованием генетических алгоритмов можно воспользоваться пакетом MatLab. Для определения эффективности решений можно использовать критерий

«ущерб от ЧС – затраты на защиту объекта», для определения риска используются формулы (1), (2). Вычисление ущерба от ЧС на рассматриваемом объекте проводилось по известным методикам и подходам [5, 6].

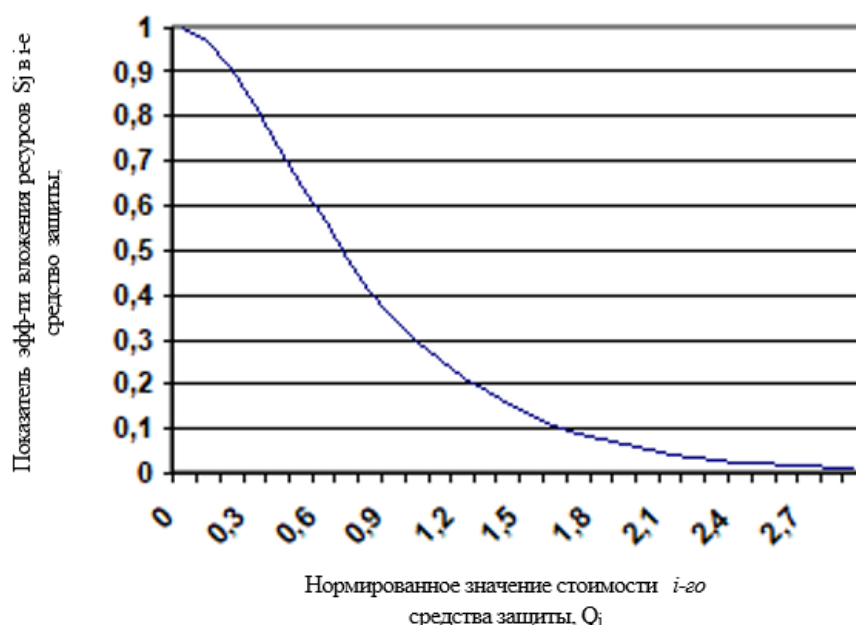


Рисунок 7. График показателя эффективности вложения ресурсов в i -е средство защиты

Figure 7. Graph of the indicator of the efficiency of investing resources in the i -th means of protection

Оптимизация с использованием генетического алгоритма проводилась при следующих условиях: количество индивидов в популяции – 40; размер хромосомы – 300 бит.

На рисунке 8 представлен график зависимости максимального и минимального ущерба от количества поколений. Оптимальное значение переменных достигалось при количестве поколений более 800.

По результатам расчетов, полученных с использованием генетического алгоритма, выявлены тенденции изменения размера предотвращенного ущерба в зависимости от действия угроз ЧС и затрат на мероприятия по защите объекта от ЧС (рисунок 9).

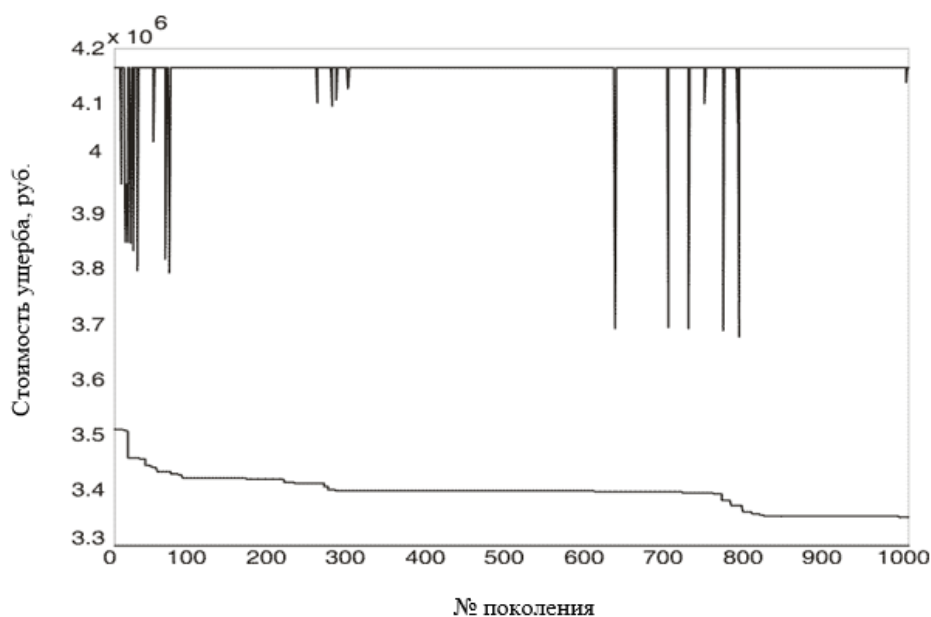


Рисунок 8. График зависимости максимального и минимального ущерба от количества поколений

Figure 8. Graph of dependence of maximum and minimum damage on the number of generations

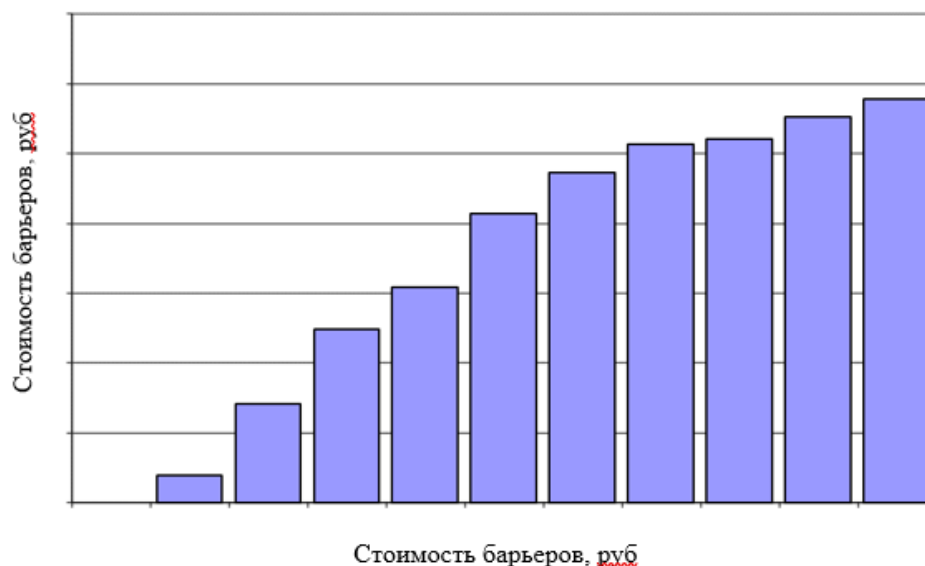


Рисунок 9. Зависимость изменения размера предотвращенного ущерба от затрат на реализацию мероприятий по защите объекта

Figure 9. Dependence of the change in the amount of prevented damage on the cost of implementing measures to protect the facility

При определении эффективности вложения и оптимизации управляющих воздействий получены следующие результаты. Оптимальная сумма затрат составляет 500 тыс. руб., при этом сумма предотвращенного ущерба составляет 850 тыс. руб. Наиболее эффективным оказывается следующее распределение средств: $C_{I2}^R = 473$ тыс. руб., $C_{10}^R = 10$ тыс. руб., $C_{II}^R = 16,1$ тыс. руб. Отметим, что для каждого опасного объекта устанавливаются «допустимые» значения возможного ущерба [7, 8], минимальное значение которого составляет 1 млн руб.

На рисунке 10 приведена диаграмма, показывающая зависимость возможного ущерба от стоимости мероприятий по защите объекта (барьеров).

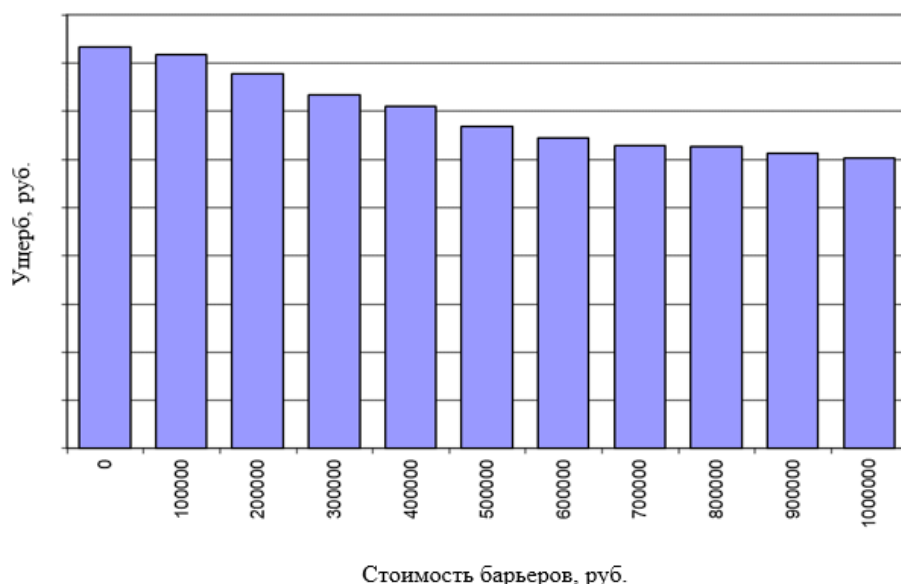


Рисунок 10. Зависимость ущерба от затрат на реализацию мероприятий по защите объекта

Figure 10. Dependence of damage on the cost of implementing measures to protect the facility

Как видно из рисунка 10, даже при максимально возможных затратах уровень допустимого ущерба не достигнут. Это говорит о необходимости

увеличения количества средств защиты, что может быть достигнуто расстановкой на НКК (рисунок 6) дополнительных концептов C_i^R .

Таким образом, применение предложенного подхода позволяет определять эффективность принимаемых решений, объемов затрат на реализацию этих решений, оценивать последствия альтернативных решений, определять объем затрат на реализацию мероприятий по защите объекта от ЧС для достижения желаемого уровня уязвимости.

Интеграция подсистемы моделирования и принятия решений в ЧС в составе интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР)

Практической целью данной статьи является разработка системы поддержки принятия решений при ликвидации чрезвычайных ситуаций (СППР ЛЧС), основанной на знаниях о ликвидации ЧС, реализующей методы распознавания ЧС, выработки и корректировки ликвидационных планов входящей в состав автоматизированной информационно-управляющей системы Управления по чрезвычайным ситуациям при Правительстве Республики Башкортостан (АИУС УЧС РБ).

СППР ЛЧС разработана по технологии проектирования, принятой для АИУС УЧС РБ. Используемая методология проектирования основана на методах нечетко-когнитивного моделирования предметной области, использовании нейронных сетей и включает следующие этапы [9, 10]:

- исследование процессов возникновения и развития ЧС;
- построение НКК объекта, характеризующей изменение его состояния при имитации действия дестабилизирующих факторов;
- синтез алгоритмов управления в условиях ЧС;
- разработка структуры СППР и функциональных требований к СППР ЛЧС;
- реализация программного и информационного обеспечения

СППР ЛЧС.

В разработанной СППР ЛЧС реализованы следующие технические решения:

- использование знаний о развитии ЧС для формирования планов локализации и ликвидации ЧС;
- поддержка нескольких профилей пользователей для вывода части плана, соответствующей статусу пользователя;
- интеграция СППР в АИУС УЧС РБ;
- реализация учета параметров ликвидации ЧС с последующим наследованием данных в соответствующие автоматизированные рабочие места АИУС УЧС РБ;
- использование внешних модулей прогноза, моделирования развития ЧС и расчета параметров ликвидационных мероприятий.

Структура СППР ЛЧС приведена на рисунке 11.

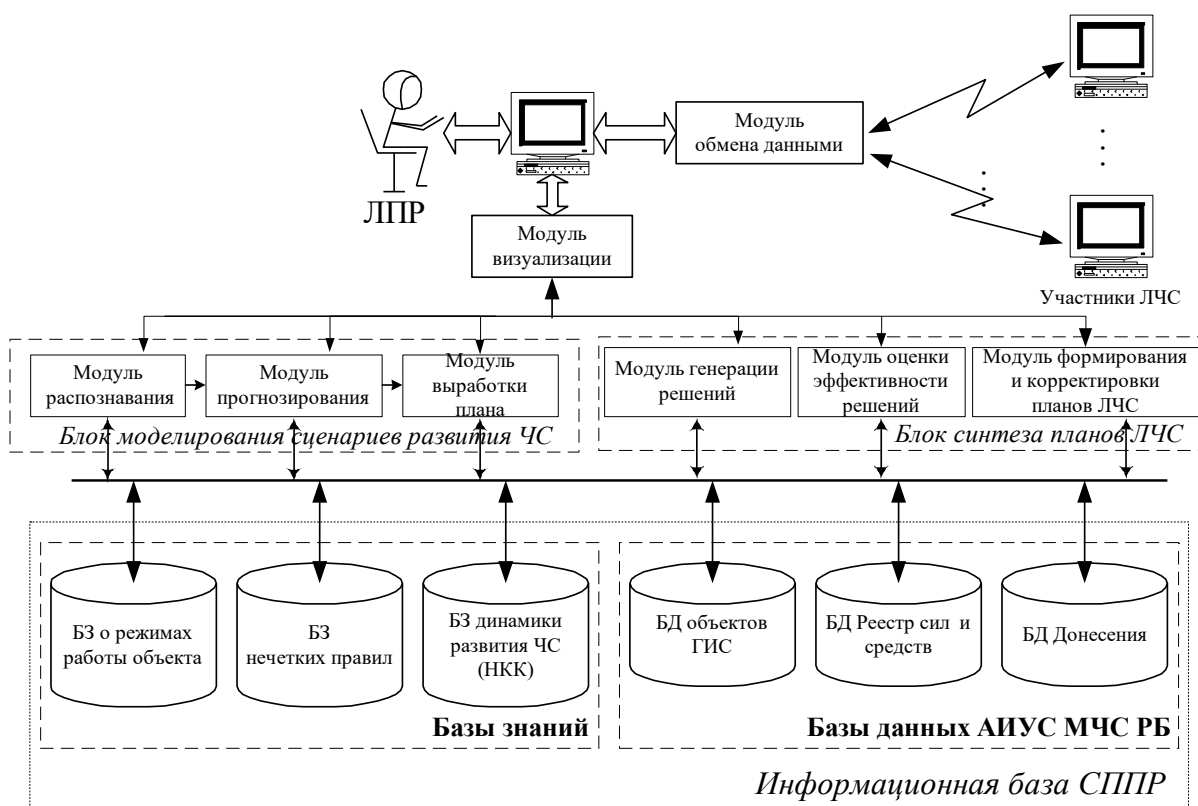


Рисунок 11. Структура СППР ЛЧС

Figure 11. Structure of the DSS of the Emergency Response System

Как видно из рисунка 10, СППР ЛЧС содержит следующие основные элементы:

1. Информационная база СППР ЛЧС, включающая базы данных и правил. Базы данных, используемые в СППР ЛЧС, содержат учетно-регистрационные данные об объекте – источнике ЧС и входят в состав АИУС УЧС РБ. Их ведение реализуется посредством автоматизированных рабочих мест (АРМ) главных специалистов отделов МЧС РБ.

2. Модуль моделирования сценариев развития ЧС – реализует метод моделирования изменения состояний объекта при действии дестабилизирующих факторов.

3. Модуль выработки планов действий при локализации ЧС, осуществляющий автоматизированное (с участием лица, принимающего решение (ЛПР)) формирование и оценку планов ликвидации ЧС.

4. Модуль обмена данными осуществляет прием и передачу информации о ходе ЛЧС. Информационный обмен осуществляется с предприятием-владельцем потенциально опасного объекта (ПОО), ликвидационными службами, городскими и районными администрациями, комиссией по чрезвычайным ситуациям (КЧС).

Тестовая апробация разработанной СППР проводилась в ходе учений и командно-штабных тренировок, проводимых руководством г. Уфы на химически опасных объектах. Выявлены основные направления, по которым эффект использования СППР имеет существенное значение:

1. Снижение суммарного времени локализации ЧС в среднем на 20 %.
2. Снижение времени на принятие решений о составе планов ликвидации ЧС и расчет в среднем на 30 %.
3. Снижение времени на подготовку донесений по формам контролирующим органам до 60 %, а также повышение качества донесений.
4. Расширение возможностей ЛПР в части прогнозирования ЧС, поиска сил, средств, техники.

5. Повышение уровня подготовки ЛПР за счет частых тестовых прогонов программного обеспечения.

6. Повышение уверенности должностных лиц в обоснованности принятых решений.

В ходе опытной эксплуатации СППР отмечены следующие особенности ее применения:

1. Возросли требования к уровню квалификации ЛПР в части навыков работы с персональным компьютером.

2. Система обладает большой чувствительностью к качеству входных данных.

3. Необходимы вложения в закупку и модернизацию существующего парка вычислительной техники, имеющейся на химически опасных объектах и городских управлениях.

По результатам эксплуатации СППР оформлены акты внедрения в МЧС РБ.

Выводы

В данной статье была выполнена прямая и обратная постановка задачи оптимизации управления состоянием объекта в условиях ЧС, которая заключалась в выделении оптимального количества средств защиты и эффективном распределении этих средств защиты. Также был предложен метод поиска оптимальных решений по управлению в ЧС с использованием генетического алгоритма. На примере химически опасного объекта выполнена оценка эффективности алгоритма управления на основе анализа риска с использованием генетических алгоритмов и НКК. Разработана структура СППР, интегрируемая в состав АИУС УЧС РБ, включающая базу знаний с нечеткими правилами и модуль выработки планов действий по ликвидации последствий ЧС на базе генетических алгоритмов. Определена эффективность практического применения СППР.

Список источников

1. Масалович А.И. Нечеткие когнитивные схемы – новый инструмент для моделирования экономических, политических, социальных ситуаций // FX-Trader.Narod. URL: <http://www.fx-trader.narod.ru/Kognit.htm> (дата обращения: 19.01.2022).
2. Куликов О.М. Информационная поддержка принятия решений при ликвидации техногенных ЧС на основе моделирования сценариев управления: дис. ... канд. техн. наук. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002. 150 с.
3. Васильев В.И., Буреева Т.М. Моделирование чрезвычайных ситуаций на основе нечетких когнитивных карт // Интеллектуальные системы управления и обработки информации: матер. Всеросс. молодежной науч.-технич. конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. С. 45.
4. Аджигулов М.М., Абдулина Е.Р. Техносферная безопасность. Менеджмент безопасности труда // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в техносфере и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: матер. конф. Ставрополь: Тэсэра, 2016. С. 120-123.
5. Власов И.А. Моделирование угроз безопасности информации в автоматизированных системах управления (АСУ) техносферной безопасностью // Научные вести. 2018. № 3. С. 23-28.
6. Евстропов В.М., Кочнев А.Д. Объекты защиты в безопасности жизнедеятельности и техносферной безопасности // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук: матер. XXVI международ. науч.-практ. конф. М.: Институт стратегических исследований, 2015. С. 54-55.
7. Ивко Е.В., Омельченко Е.В. Управление техносферной безопасностью и безопасностью производственных процессов // Экология и безопасность жизнедеятельности: матер. XVII Международ. науч.-практ. конф. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2017. С. 67-71.
8. Щербаков С.Ю., Фокин А.А., Заборских А.А. Основные принципы математического моделирования в техносферной безопасности // Наука и образование. 2020. Т. 3. № 2. С. 59.

9. Белозеров В.В. Методы, модели и средства автоматизации управления техносферной безопасностью: дис. ... д-ра техн. наук. Ростов-на-Дону: 2012. 489 с.

10. Милешко Л.П., Попова О.В. Системы обеспечения экологической и технологической безопасности // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 3 (67). С. 270-276.

References

1. Masalovich A.I. Nechetkie kognitivnye skhemy – novyi instrument dlya modelirovaniya ekonomicheskikh, politicheskikh, sotsial'nykh situatsii [Fuzzy Cognitive Schemes – a New Tool for Modeling Economic, Political, Social Situations]. *FX-Trader.Narod*. Available at: <http://www.fx-trader.narod.ru/Kognit.htm> (accessed 19.01.2022). [in Russian].

2. Kulikov O.M. *Informatsionnaya podderzhka prinyatiya reshenii pri likvidatsii tekhnogennykh ChS na osnove modelirovaniya stsenariiev upravleniya: dis. kand. tekhn. nauk* [Information Support for Decision-Making During the Liquidation of Man-Made Emergencies Based on the Simulation of Control Scenarios: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, UGNTU Publ., 2002. 150 p. [in Russian].

3. Vasilev V.I., Bureeva T.M. Modelirovanie chrezvychainykh situatsii na osnove nechetkikh kognitivnykh kart [Modeling of Emergency Situations Based on Fuzzy Cognitive Maps]. *Materialy vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Intellektual'nye sistemy upravleniya i obrabotki informatsii* [Materials of the All-Russian Youth Scientific and Technical Conference «Intelligent Control Systems and Information Processing»]. Ufa, UGNTU Publ., 2003, pp. 45. [in Russian].

4. Adzhigulov M.M., Abdulina E.R. Tekhnosfernaya bezopasnost'. Menedzhment bezopasnosti truda [Technosphere Safety. Occupational Safety Management]. *Materialy konferentsii «Aktual'nye problemy obespecheniya bezopasnosti v tekhnosfere i zashchity naseleniya i territorii v chrezvychainykh situatsiyakh»* [Materials of the Conference «Actual Problems of Ensuring Security

in the Technosphere and Protecting the Population and Territories in Emergency Situations»]. Stavropol, Tesera Publ., 2016, pp. 120-123. [in Russian].

5. Vlasov I.A. Modelirovanie ugroz bezopasnosti informatsii v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya (ASU) tekhnosfernoi bezopasnost'yu [Modeling Information Security Threats in Automated Control Systems (ACS) for Technosphere Security]. *Nauchnye vesti – Scientific News*, 2018, No. 3, pp. 23-28. [in Russian].

6. Evstropov V.M., Kochnev A.D. Ob"ekty zashchity v bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti i tekhnosfernoi bezopasnosti [Objects of Protection in Life Safety and Technosphere Safety]. *Materialy XXVI mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk»* [Materials of the XXVI International Scientific-Practical Conference «Modern Problems of the Humanities and Natural Sciences»]. Moscow, Institut strategicheskikh issledovaniy Publ., 2015, pp. 54-55. [in Russian].

7. Ivko E.V., Omelchenko E.V. Upravlenie tekhnosfernoi bezopasnost'yu i bezopasnost'yu proizvodstvennykh protsessov [Management of Technosphere Safety and the Safety of Production Processes]. *Materialy XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti»* [Materials of the XVII International Scientific and Practical Conference «Ecology and Life Safety»]. Penza, Penzenskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet Publ., 2017, pp. 67-71. [in Russian].

8. Shcherbakov S.Yu., Fokin A.A., Zaborskikh A.A. Osnovnye printsipy matematicheskogo modelirovaniya v tekhnosfernoi bezopasnosti [Basic Principles of Mathematical Modeling in Technosphere Safety]. *Nauka i obrazovanie – Nauka i obrazovanie*, 2020, Vol. 3, No. 2, pp. 59. [in Russian].

9. Belozarov V.V. *Metody, modeli i sredstva avtomatizatsii upravleniya tekhnosfernoi bezopasnost'yu: dis. d-ra tekhn. nauk* [Methods, Models and Means of Automation of Technosphere Safety Management: Doct. Engin. Sci. Diss.]. Rostov-on-Don, 2012. 489 p. [in Russian].

10. Milesenko L.P., Popova O.V. Sistemy obespecheniya ekologicheskoi i tekhnologicheskoi bezopasnosti [The System of Ensuring of Ecological and Technological Safety]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti – Technology of Technosphere Safety*, 2016, No. 3 (67), pp. 270-276. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Первов Кирилл Сергеевич, первый заместитель председателя государственного комитета Республики Башкортостан по чрезвычайным ситуациям, Уфа, Россия

Kirill S. Pervov, First Deputy Chairman of the State Committee for Emergency Situations of the Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia

Хафизов Фаниль Шамильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, Уфа, Россия

Fanil Sh. Khafizov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russia

Васильев Денис Владимирович, аспирант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, Уфа, Россия

Denis V. Vasiliev, Post-Graduate Student of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russia

e-mail: i.denis.vasilyev@gmail.com

Озден Инна Владимировна, кандидат химических наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, Уфа, Россия

Inna V. Ozden, Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russia