Научная статья УДК 614.841.24

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.10.96.012

Разработка модели системы автоматизированного мониторинга магистральных газопроводов в целях обеспечения пожарной и промышленной безопасности

Вячеслав Георгиевич Бурлов² Юрий Дмитриевич Кузнецов¹ Сергей Юрьевич Капицын¹

Автор ответственный за переписку: Бурлов Вячеслав Георгиевич, burlovvg@mail.ru

Анномация. В целях повышения уровня пожарной безопасности магистральных газопроводов, рассматривается подход к обеспечению безопасности, разработанный на основе синтеза. В ходе анализа уровня безопасности магистрального газопровода, решается обратная задача управления безопасностью, основанная на естественно-научном подходе к синтезу управления в условиях ограниченности ресурсов. Моделирование процессов возникновения угроз и обеспечения безопасности осуществляется с использованием системы дифференциальных уравнений Колмогорова и Марковских процессов. В результате моделирования определены количественные значения показателей безопасности в системах с использованием автоматизированного мониторинга и в системах, где автоматизированный мониторинг не применяется. Путем проведения расчетов обоснована необходимость применения систем автоматизированного мониторинга для повышения значения показателя безопасности.

Ключевые слова: пожарная и промышленная безопасность, естественно-научный подход к синтезу, структурно-функциональное моделирование, автоматизированные системы безопасности, магистральные газопроводы

Для цитирования: Бурлов В.Г., Кузнецов Ю.Д., Капицын С.Ю. Разработка модели системы автоматизированного мониторинга магистральных газопроводов в целях обеспечения пожарной и промышленной безопасности // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 4 (27). С. 65-74. https://doi.org/ 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.10.96.012.

DEVELOPMENT OF A MODEL OF AN AUTOMATED MONITORING SYSTEM FOR MAIN GAS PIPELINES IN ORDER TO ENSURE FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY

Vyacheslav G. Burlov² Yuriy D. Kuznetsov¹ Sergei U. Kapitsyn¹

Corresponding author: Vyacheslav G. Burlov, burlovvg@mail.ru

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

²Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract. In order to increase main gas pipelines fire safety level consideration of safety ensuring approach developed on the basis of synthesis is executed. The inverse problem of safety management based on natural-scientific approach to the management synthesis is solved during the main gas pipeline safety level analysis in conditions of limited resources. Modeling threat occurrence and safety ensuring processes is executed using the Kolmogorov equations system and Markov processes. As a result of modeling, quantitative values of safety criterions were determined in systems with applied automated monitoring and without it. Calculations substantiate the necessity to use automated monitoring systems for enhancement of safety criterion value.

Key words: fire and industrial safety, natural-scientific approach to synthesis, structural-functional modeling, automated safety systems, main gas pipelines

For citation: Burlov V.G., Kuznetsov Y.D., Kapitsyn S.U. Development of a model of an automated monitoring system for main gas pipelines in order to ensure fire and industrial safety // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2022;4(27):62-47. (In Russ.). https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.10.96.012.

Введение

Согласно данным ФГБУ ВНИИПО МЧС России за 2021 год в РФ произошло 390859 пожаров с общим прямым ущербом в 16,2 млрд. руб. [1]. В частности, пожары могут возникать и при утечках на магистральных трубопроводах, что приводит к существенным материальным затратам, направленным на локализацию и ликвидацию, а также восстановительные работы. Наиболее рациональным для обеспечения безопасности является превентивный подход, сводящийся к предотвращению аварий и пожаров путем принятия своевременных управленческих решений на основании данных мониторинга.

Мониторинг безопасности магистральных газопроводов играет значимую роль в обеспечении их безопасности. Вектор управления безопасностью состоит из двух компонентов: идентификации и нейтрализации. Мониторинг направлен на идентификацию угроз: чем быстрее и правильнее будет идентифицирована угроза, и чем быстрее будут проводиться работы по ликвидации угрозы, тем выше будет уровень безопасности объекта защиты. Использование автоматизированных систем мониторинга позволяет сократить время, требуемое для идентификации угрозы, а значит, позволяет повысить уровень безопасности. Таким образом, в данной работе была решена задача увеличения показателя безопасности через сокращение времени мониторинга.

Применение закона сохранения целостности объекта

Чтобы оценить влияние автоматизированных систем мониторинга на уровень безопасности объекта, необходимо решить обратную задачу управления безопасностью, используя метод синтеза системы. В основе управления безопасностью системы лежит решение, модель которого создает лицо, принимающее решения (ЛПР). Модель решения должна основываться на законе сохранения целостности объекта [2,3,6].

Закон сохранения целостности объекта (ЗСЦО) – устойчивая повторяющаяся связь свойств объекта и свойств действия при фиксированном предназначении. Поскольку Мир познается и осознается субъектом через три базовых свойства: «объективность», «целостность» и «изменчивость», ЗСЦО отражает эти базовые свойства в виде компонентов процесса: «объект», «предназначение» и «действие» [2,4,7].

Управленческое решение, созданное на основе ЗСЦО, заключается в обеспечении субъектом условий реализации предназначения объекта управления в соответствующей обстановке, которая представляет из себя совокупность факторов и условий, в которых осуществляется деятельность [2,5,8].

Существует два подхода к разработке системы: на основе анализа и на основе синтеза [9]. При решении проблем пожарной безопасности широко используется метод анализа. Например,

строятся аналитические модели для оценки пожарной безопасности [10] или для оценки необходимого количества ресурсов для задач пожарной охраны [11]. Аналитический подход применяется для быстрой компоновки заданных элементов и оценки характеристик получившейся системы. Среди авторов, рассматривавших вопросы построения и реализации решения можно выделить Моисеева Н. Н. [12], Орловского С. А. [13] и Новикова Д. А. [14]. В своих работах под решением они понимали «выбор альтернатив», который осуществлялся зачастую с применением аппарата теории игр, нелинейного программирования и т. п. Однако, известные системотехники В. В. Дружинин и Д. С. Конторов [15] отмечали, что подход, строящийся на «выборе альтернатив», страдает концептуальной неполнотой и не гарантирует достижения заданной цели. Преимущества модели решения, разработанной на основе синтеза, представлены на рис. 1.

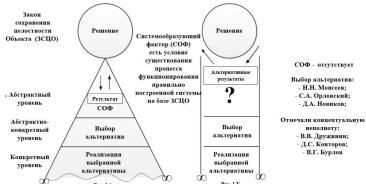


Рис. 1. Роль СОФ в системе, построенной на базе ЗСЦО

Модели, построенные согласно схеме, на рис.1.Б, страдают концептуальной неполнотой и не гарантируют достижения поставленной цели, в отличие от моделей, создаваемых на основе синтеза (рис. 1.А). Человек осуществляет мыслительную деятельность на абстрактном, абстрактно-конкретном и конкретном уровнях, что также отражено на схеме.

Таким образом, для разработки системы выбран подход на основе синтеза. Необходимо также оценить адекватность разрабатываемой модели, что возможно сделать тремя способами:

- 1. Проверка на практике.
- 2. Сравнение с эталоном.
- 3. Полнотой учёта основных закономерностей предметной области.

В данной работе используется третий подход, для которого необходимо знание закона, учитывающего закономерности предметной области. Таким законом в данной работе является ЗСЦО.

Моделирование управленческого решения

Решение представляет из себя цепочку логических рассуждений. Чтобы добиться непротиворечивости рассуждений (что необходимо для того, чтобы решение было адекватно обстановке), необходимо применить формальный аксиоматический метод, для чего выделим участников процесса:

- 1. Человек, его сознание.
- 2. Окружающий Мир.
- 3. Всеобщая связь явлений, позволяющая осуществлять познание.

Для создания условий, позволяющих гарантировать достижение целей осуществляемой деятельности, используется естественно-научный подход, который определяется интеграцией перечисленных участников процесса. Данная трехкомпонентность находит отражение в трех принципах:

- 1. Принцип трехкомпонентности познания (три уровня познания).
- 2. Принцип целостности Мира (реализуется ЗСЦО).
- 3. Принцип познаваемости мира (реализуется тремя методами: декомпозиция, абстрагирование и агрегирование).

Поскольку человек осуществляет свою деятельность через свойства, определим также три свойства, следующих из трехкомпонентности системы: изменчивость, объективность и целостность.

Зная, что каждый процесс, если он рассматривается в рамках естественно-научного подхода, доложен быть представлен тремя компонентами, соответствующими трем описанным свойствам, а также принимая во внимание, что познание осуществляется на трех уровнях, представим содержание понятия «решение» в виде развернутой структурной схемы (рис. 2).



Рис. 2 Структурная схема, развёртывания содержания категории «решение» как процесс

На технологическом (конкретном) уровне «решение» как «процесс» представляется в виде связи трёх компонентов.

- 1. Это «обстановка» факторы и условия, в которых осуществляется деятельность.
- 2. «Информационно-аналитическая работа» непрерывное добывание, сбор, изучение, отображение и анализ данных об обстановке.
- 3. «Решение» условие реализации предназначения объекта.

Представив «решение» в виде связи трёх рассмотренных компонентов, перейдём к разработке структурной схемы развёртывания содержания процесса синтеза математической модели «решения» (рис. 3).

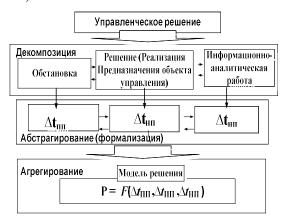


Рис. 3. Структурная схема процесса синтеза математической модели решения

Для синтеза модели применяются ранее упомянутые методы декомпозиции, абстрагирования и агрегирования. При применении декомпозиции, процесс принятия решения представляется совокупностью трех компонентов: «обстановка», «информационно-аналитическая работа» и «решение» (основой их связи является ЗСЦО). При применении метода абстрагирования, осуществляется формализация каждого из компонентов, математическими моделями для обстановки, решения и информационно-аналитической деятельности являются $\Delta t_{\Pi\Pi}$, $\Delta t_{\Pi\Pi}$, соответственно. Их физический смысл объясняется следующим образом.

Угрозы возникают с определенной частотой, зависящей от $\Delta t_{\Pi\Pi}$ – среднее время возникновения угрозы (проявления проблемы). Для нейтрализации угрозы необходимо ее

идентифицировать (скорость идентификации зависит от $\Delta t_{\rm И\Pi}$ — среднего времени идентификации угрозы), после чего необходимо непосредственно нейтрализовать угрозу (скорость нейтрализации зависит от $\Delta t_{\rm H\Pi}$ — среднего времени нейтрализации проблемы). Диаграмма проявления данных базовых элементов из которых формируется управленческое решение представлена на рис. 4.

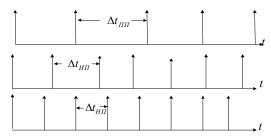


Рис.4. Диаграмма проявления базовых элементов формирования управленческого решения

Управление, осуществляемое таким образом, считается результативным при соблюдении следующего условия (1):

$$\Delta t_{\rm M\Pi} + \Delta t_{\rm H\Pi} < \Delta t_{\rm \Pi\Pi} \tag{1}$$

Данное выражение имеет следующую трактовку: время на появление следующей проблемы должно быть больше, чем суммарное время на идентификацию и нейтрализацию уже существующей проблемы.

При моделировании управленческого решения рассматриваются три процесса:

Процесс образования проблемы, характеризуется вектором «х» (2)

$$\Delta t_{\Pi\Pi} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{2}$$

Процесс идентификации проблемы, характеризуется вектором «у» (3)

$$\Delta t_{\text{MII}} = f(y_1, y_2, \dots, y_m) \tag{3}$$

Процесс нейтрализации проблемы, характеризуется вектором «z» (4)

$$\Delta t_{\rm H\Pi} = f(z_1, z_2, \dots, z_k) \tag{4}$$

Таким образом, формализованная модель управленческого решения принимает вид (5):

$$P = f(\Delta t_{\Pi\Pi}, \Delta t_{\Pi\Pi}, \Delta t_{\Pi\Pi}) \tag{5}$$

Данная модель управленческого решения представляет его как систему с дискретными состояниями и непрерывным временем, что позволяет использовать при моделировании уравнения Колмогорова [3].

При осуществлении деятельности возникают проблемы с интенсивностью (6):

$$\lambda = \frac{1}{\Delta t_{\Pi\Pi}} \tag{6}$$

Возникшие проблемы идентифицируются с интенсивностью (7):

$$\nu_1 = \frac{1}{\Delta t_{\text{M}\Pi}} \tag{7}$$

Нейтрализация идентифицированных проблем осуществляется с интенсивностью (8):

$$v_2 = \frac{1}{\Delta t_{\rm H\Pi}} \tag{8}$$

Модель управленческого решения включает в себя три элемента (рис. 5) [4,5].



Рис. 5. Схема реализации управленческого решения

ЛПР может осуществлять две функции применительно к возникающим проблемам: идентификацию и нейтрализацию, что приводит к появлению четырех базовых состояний решения ЛПР:

 S_{00} – ЛПР не идентифицирует и не нейтрализует;

 S_{10} – ЛПР идентифицирует и не нейтрализует;

 S_{01} – ЛПР не идентифицирует, но нейтрализует;

 S_{11} – ЛПР идентифицирует и нейтрализует;

Наличие четырех состояний обуславливает необходимость введения вероятностей P_{00} , P_{10} , P_{01} , P_{01} , P_{11} пребывания системы в каком-либо из состояний [5]. На основе сформулированных состояний системы можно создать граф состояний процесса формирования управленческого решения (рис. 4).

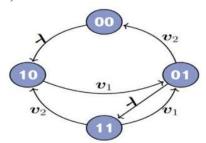


Рис. 4. Граф состояний процесса формирования управленческого решения

Вероятности $P_i(t)$, соответствующие каждому из состояний S_i , вычисляются путем решения системы дифференциальных уравнений Колмогорова, имеющих вид (9), где i=0,1,...,n.

$$\frac{P_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji} P_j(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}$$
(9)

Величина $\lambda_{ji}P_j(t)$ — это поток вероятности перехода из состояния S_i , в состояние S_j , при этом интенсивность потоков λ_{ij} может как зависеть от времени, так и быть постоянной.

Применительно к рассматриваемой ситуации, система дифференциальных уравнений Колмогорова примет вид (10):

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}P_{00}(t) = -P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)\nu_{2} \\ \frac{d}{dt}P_{01}(t) = -P_{01}(t)(\lambda + \nu_{2}) + P_{11}(t)\nu_{1} + P_{10}(t)\nu_{1} \\ \frac{d}{dt}P_{10}(t) = P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)\nu_{1} + P_{11}(t)\nu_{2} \\ \frac{d}{dt}P_{11}(t) = P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(\nu_{1} + \nu_{2}) \end{cases}$$
(10)

Поскольку система имеет конечное число состояний S, то сумма вероятностей нахождения системы в заданных состояниях равна единице (11).

$$P_{00}(t) + P_{10}(t) + P_{01}(t) + P_{11}(t) = 1$$
(11)

Исходя из предположения, что процесс - стационарный, исходную систему дифференциальных уравнений можно трансформировать в систему однородных линейных уравнений (12):

$$\begin{cases}
-P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)\nu_2 = 0 \\
-P_{01}(t)(\lambda + \nu_2) + P_{11}(t)\nu_1 + P_{10}(t)\nu_1 = 0 \\
P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)\nu_1 + P_{11}(t)\nu_2 = 0 \\
P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(\nu_1 + \nu_2) = 0
\end{cases}$$
(12)

Решение полученной системы линейных алгебраических уравнений будет иметь следующий вид (13):

$$\begin{cases} P_{00} = \frac{\nu_1 \nu_2}{\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1 \nu_2} \\ P_{01} = \frac{\lambda \nu_2 (\lambda + \nu_1 + \nu_2)}{(\nu_1 + \nu_2) [\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1 \nu_2]} \\ P_{10} = \frac{\lambda \nu_1}{\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1 \nu_2} \\ P_{11} = \frac{\lambda \nu_1}{(\nu_1 + \nu_2) [\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1 \nu_2]} \end{cases}$$

$$(13)$$

Наибольший интерес представляет уравнение, показывающее вероятность нахождения системы в состоянии, где существовавшая проблема решена, а новая проблема еще не появилась (14). Этот показатель и является критерием безопасности. $P_{00} = \frac{\nu_1 \nu_2}{\lambda (\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1 \nu_2}$

$$P_{00} = \frac{\nu_1 \nu_2}{\lambda(\lambda + \nu_1 + \nu_2) + \nu_1 \nu_2} \tag{14}$$

Решение гипотетической задачи

Для демонстрации влияния автоматизированного мониторинга на уровень безопасности магистрального газопровода определим интенсивности проявления проблемы, идентификации проблемы и нейтрализации проблемы (15-17) и решим гипотетическую задачу: $\lambda = \frac{1}{\Delta t_{\Pi\Pi}} \ (15), \nu_1 = \frac{1}{\Delta t_{\Pi\Pi}} (16), \nu_2 = \frac{1}{\Delta t_{\Pi\Pi}} (17)$

$$\lambda = \frac{1}{\Delta t_{\Pi\Pi}} (15), \nu_1 = \frac{1}{\Delta t_{\Pi\Pi}} (16), \nu_2 = \frac{1}{\Delta t_{\Pi\Pi}} (17)$$

Предположим, что магистральный газопровод имеет длину 20 км и на нем происходит 100 аварий и инцидентов в год. Выразим число аварий в виде интенсивности с единицей измерения 1/час (18):

$$\lambda = \frac{100}{365 * 24} = 0.0114 \tag{18}$$

Интенсивность идентификации проблемы представим, как время обхода аварийновосстановительной бригадой всей длины газопровода, исходя из предположения, что скорость пешего движения составляет 5 км/ч (19), тогда на обход потребуется 4 часа:

$$\nu_1 = \frac{1}{4} = 0,2500 \tag{19}$$

Интенсивность нейтрализации проблемы рассмотрим исходя из требований нормативной документации, которая указывает, что продолжительность аварийно-восстановительных работ не должна превышать 9,4 часа [16], тогда интенсивность можно рассчитать по (20):

$$v_2 = \frac{1}{9.4} = 0.1064 \tag{20}$$

С учетом приведенных допущений, рассчитаем величину показателя безопасности (21):

$$P_{00} = \frac{0,2500 \cdot 0,1064}{0,0114(0,0114 + 0,2500 + 0,1064) + 0,2500 \cdot 0,1064} = 0,8693$$
 (21)

Автоматизация системы мониторинга позволяет сократить время распознавания угрозы, что приведет к увеличению величины показателя безопасности. Рассмотрим процесс мониторинга, в котором идентификацию проблемы члены аварийно-спасательной бригады будут проводить при помощи квадрокоптера модели DS550 с тепловизионными модулями. Максимальная скорость полета данной модели составляет 90 км/ч [17], что позволяет произвести облет газопровода длиной 20 км за 0,22 часа, что приводит к сокращению времени распознавания угрозы в 18 раз. Таким образом, значение интенсивности идентификации изменится (22):

$$\nu_1' = \frac{1}{0.22} = 4,5455 \tag{22}$$

Изменение интенсивности идентификации окажет влияние на показатель безопасности (23):

$$P'_{00} = \frac{4,5455 \cdot 0,1064}{0,0114(0,0114 + 4,5455 + 0,1064) + 4,5455 \cdot 0,1064} = 0,9010$$
 (23)

В ходе исследования была решена обратная задача обеспечения безопасности, основанная на ЗСЦО и синтезе системы. Моделирование, основанное на применении названных концепций, гарантирует достижение цели, поставленной ЛПР. Разработанный подход к синтезу модели системы позволяет создавать процессы с наперед заданными свойствами, что позволяет с определенной степенью гарантировать достижение безопасности. Степень гарантированности безопасности характеризуется показателем безопасности. В ходе исследования были получены показатели безопасности для системы безопасности магистрального газопровода для двух случаев: с использованием систем автоматизированного мониторинга и для случая отсутствия таких систем. Показатель безопасности при использовании автоматизированного мониторинга ($P'_{00} = 0.9010$) существенно выше, чем у системы, где автоматизированный мониторинг отсутствует ($P_{00} = 0.8693$). Эта разница в значении показателей достигается за счет сокращения времени распознавания угрозы и обосновывает необходимость использования систем автоматизированного мониторинга при обеспечении безопасности магистральных газопроводов.

Список источников

- 1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статистический сборник. Балашиха: П 46 ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
- 2. Бурлов В.Г. Основы моделирования социально-экономических и политических процессов. Часть 1. (Методология. Методы.). С-Пб. НП «Стратегия будущего», 2007. 287с.
- 3. Бурлов В.Г. Математические методы моделирования в экономике. Часть 1, -С-Пб. СПбГПУ, Факультет безопасности, НП «Стратегия будущего», 2007.- 330с
- 4. Бурлов В.Г. О концепции гарантированного управления устойчивым развитием Арктической зоны на основе решения обратной задачи. Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2015. № 2 (16). С. 99-111
- 5. Бурлов В. Г., Гробицкий А.М., Гробицкая А.М. Управление строительным производством с учетом показателя успешного выполнения производственного задания Инженерно- Строительный журнал, 2016, № 3. с. 77–91. doi: 10.5862/MCE.63.5
- 6. Burlov V., Andreev A., Gomazov F. MATHEMATICAL MODEL OF HUMAN DECISION A METHODOLOGICAL BASIS FOR THE REALIZATION OF THE HUMAN FACTOR IN SAFETY MANAGEMENT B сборнике: Procedia Computer Science. Postproceedings of the 9th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, BICA 2018. 2018. C. 112-117

- 7. Бурлов В.Г., Магулян Г.Г., Матвеев А.В.. ОБЩИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 5 (133). С. 73-76.
- 8. Бурлов В.Г., Матвеев А.В. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИНТЕЗА ОБЛИКА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И СПОСОБОВ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ. Проблемы управления рисками в техносфере. 2012. № 3 (23). С. 1-13.
- 9. Гуд Г.Х., Маккол Р.Э. Системотехника: введение в проектирование больших систем.-Издательство : М.: Советское радио, 1962г. – 383с
- 10. Фомин, А. И, Бесперстов Д. А., Аналитическая модель способа оценки пожарной безопасности работников предприятий угольной промышленности // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2019. № 2. С. 30-34. EDN BJQSNB.
- 11. Порошин А. А., Харин В. В., Кондашов А. А. [и др.], Разработка методики обоснования ресурсов пожарной охраны в сельских поселениях Российской Федерации в зависимости от уровня пожарной опасности // Пожарная безопасность. 2018. № 4. С. 32-38. EDN AZJZBL.
- 12. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. Наука. Москва. 1981 г. 468с.
- 13. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечёткой исходной информации. «Наука», Москва, 1981. -207с.
- 14. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д. А. Введение в теорию управления организационными системами. Под редакцией члена-корреспондента РАН Д. А. Новикова. Второе издание. Книжный дом «ЛИБРОКОМ». Москва. 2013. 261с.
- 15. Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. Введение в теорию конфликта. «Радио и Связь», Москва. 1989. 288с.
- 16. Типовая технологическая карта (ТТК). Аварийно-восстановительные работы на магистральных трубопроводах. Кодекс [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/468392350 (дата обращения 01.10.2022)
- 17. Квадрокоптер DS550. DRONESTROY [Электронный ресурс]. URL: https://dronestroy.ru/catalog/copters/kvadrokopter-ds550/ (дата обращения 01.10.2022)

List of sources

- 1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: Statisticheskij sbornik [Fires and fire safety in 2021: Statistical compendium]. Balashiha, VNIIPO, 2022, 114 p.
- 2. Burlov V.G., Osnovi modelirovania sotsialno-economicheskih i politicheskih protsessov, Chast' 1 (Metodologia i metodi) [Fundamentals of modeling socio-economic and political processes. Part 1. (Methodology. Methods.)]. Saint-Petersburg. NP «Strategia budushego», 2007. 287 p.
- 3. Burlov V.G., Matematicheskie metodi modelirovania v economike, Chast' 1 [Mathematical methods of modeling in economics. Part 1]. Saint-Petersburg, SPbGPU, Facultet bezopasnosti, NP «Strategia budushego», 2007 300 p.
- 4. Burlov V.G., O kontseptsii garantirovannogo upravlenia ustoychivim razvitiem Arkticheskoy zoni na osnove reshenia obratnoy zadachi [On the concept of guaranteed management of the sustainable development of the Arctic zone based on the solution of the inverse problem]. Informatsionnie tehnoloigii i sistemi: upravlenie. economika, transport, pravo. 2015. №2 (16). Pp. 99-111.
- 5. Burlov V.G., Grobitskiy A.M., Grobitskaya A.M., Upravlenie stroitelnim proizvodstvom s uchetom pokazatelya uspeshnogo vipolnenia proizvodstvennogo zadania [Management of construction production, taking into account the indicator of successful completion of the production task]. Injenerno-Stroitelniy zhurnal, 2016, №3, pp. 77-91. doi: 10.5862/MCE.63.5

- 6. Burlov V., Andreev A., Gomazov F. MATHEMATICAL MODEL OF HUMAN DECISION A METHODOLOGICAL BASIS FOR THE REALIZATION OF THE HUMAN FACTOR IN SAFETY MANAGEMENT B сборнике: Procedia Computer Science. Postproceedings of the 9th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, BICA 2018. 2018. C. 112-117
- 7. Burlov V.G., Magulyan G. G., Matveev A. V., Obshiy podhod k modelirovaniu system obespechenia bezopasnosti [General approach to modeling safety systems]. Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie. 2011, №5 (133), pp 73-76.
- 8. Burlov V. G., Matveev A. V., Osnovi teorii sinteza oblika sistemi obespechenia bezopasnosti i sposobov ee funktsionirovania na potentsialno opasnih ob'ektah [Foundations of the theory of synthesis of the image of the safety system and methods of its functioning at potentially hazardous objects]. Problemi upravlenia riskami v technosfere. 2012. №3 (23), pp 1-13.
- 9. Harry H. Hood, Robert E. Machol, System engineering: an introduction to the design of large-scale systems, Izdatelstvo: M.: Sovetskoe radio, 1962. 383 p.
- 10. Fomin A. I., Besperstov D. A., Analiticheskaia model' sposoba otsenki pozharnoi bezopasnosti rabotnikov predpriyatii ugolnoi promishlennosti' [Analytical model of the method for assessing the fire safety of employees of coal industry enterprises. Bulletin of the scientific center for safety in the coal industry]. -2019. -90.30. -90.30. -90.30.
- 11. Poroshin A. A., Harin V. V., Kondashov A. A. [and others], Razrabotka metodiki obosnovania resursov pojarnov ohrani v selskih poseleniah Rossiyskov Federacii v zavisimosti ot urovnya pozharnov opasnosti [Development of a methodology for substantiating fire protection resources in rural settlements of the Russian Federation, depending on the level of fire danger]. Pozharnaya bezopasnost'. − 2018. №4. − pp. 32-38. EDN AZJZBL.
 - 12. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. Nauka. Moskva. 1981 g. 468s.
- 13. Orlovskij S.A. Problemy prinyatiya reshenij pri nechyotkoj iskhodnoj informacii. «Nauka», Moskva, 1981. -207s.
- 14. Burkov V.N., Korgin N.A., Novikov D. A. Vvedenie v teoriyu upravleniya organizacionnymi sistemami. Pod redakciej chlena-korrespondenta RAN D. A. Novikova. Vtoroe izdanie. Knizhnyj dom «LIBROKOM». Moskva. 2013.-261s.
- 15. Druzhinin V.V., Kontorov D.S., Kontorov M.D. Vvedenie v teoriyu konflikta. «Radio i Svyaz'», Moskva. 1989. 288s.
- 16. Tipovaia tehnologicheskaya karta (TTK). Avariino-vosstanovitelnie raboti na magistralnih truboprovodah. Codex [Electronic resource]. URL: https://docs.cntd.ru/document/468392350 (date of the application 01.10.2022)
- 17. Quadcopter DS550. DRONESTROY [Electronic resource]. URL: https://dronestroy.ru/catalog/copters/kvadrokopter-ds550/ (date of the application 01.10.2022)

Информация об авторах В.Г. Бурлов – доктор технических наук Information about the author

V.G. Burlov - Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 28.11.2022; одобрена после рецензирования 20.12.2022; принята к публикации 21.12.2022.

The article was submitted 28.11.2022, approved after reviewing 20.12.2022, accepted for publication 21.12.2022.