

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СЦЕНАРИЕВ ПРИ ОТКАЗЕ ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Канд. техн. наук *М.И. Захарова*

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН –
структурное подразделение ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН»

По результатам анализа отказов газопроводов, произошедших в условиях Севера, выявлены основные причины аварий газопроводов, разработано “дерево отказов” утечки газа из газопровода с оценкой частот реализации отказов, оценены частоты реализации аварийных сценариев при утечке газа из газопровода с учетом аномальных метеорологических условий. Показано влияние температурной инверсии на развитие аварии.

Ключевые слова: частота отказов, частота аварийных ситуаций, температурная инверсия, частота образования облака ГВС, ударные волны.

FREQUENCY ANALYSIS OF EMERGENCY SCENARIOS IN CASE OF GAS PIPELINE FAILURE IN THE NORTH

Ph.D (Tech) *M.I. Zakharova*

The Institution of Russian Academy of Sciences the V.P. Larionov's Institute
of Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS

Based on the results of gas pipeline failures analysis occurred in the North, the main causes of gas pipeline accidents were identified, the gas leakage “fault tree” from the gas pipeline was developed with estimation of failures frequencies, and the frequency of emergency situations in case of gas leakage from the gas pipeline taking into account abnormal weather conditions was estimated. The influence of temperature inversion on the development of an accident is shown.

Keywords: failures frequencies, frequency of emergency scenarios, temperature inversion, frequency of formation of a gas-air mixture cloud, shock wave.

Газопровод является важным элементом системы газоснабжения, так как на его сооружение расходуется 70-80% всех капитальных вложений. При этом из общей протяженности газопроводов 70-80% составляют газопроводы низкого давления и только 20-30% - газопроводы среднего и высокого давления. Газопроводы низкого давления служат для подачи газа к жилым домам, общественным зданиям и коммунально-бытовым предприятиям. Газопроводы среднего давления через газорегуляторные пункты снабжают газом газопроводы низкого давления, а также промышленные и коммунально-бытовые предприятия. По газопроводам высокого давления газ поступает через газораспределительные установки на промышленные предприятия и газопроводы среднего давления.

Суровые природно-климатические условия Севера значительно влияют на безопасность эксплуатации газопроводов. Неконтролируемое развитие аварийных ситуаций может привести к значительному ущербу и гибели людей.

Основные причины аварий газопроводов в условиях Севера

№	Наименование фактора	Доля фактора
1	Возможные механические воздействия третьих лиц	0,22
2	Сквозные коррозионные повреждения	0,2
3	Ошибки при сварочных работах	0,24
4	Природные воздействия	0,02
5	Накопление повреждений, износ материала	0,13
6	Ледяные закупорки	0,03
7	Разгерметизация фланца	0,16

Важнейшим этапом анализа риска является оценка частоты или вероятности отказов и сценариев развития аварийных ситуаций на газопроводах.

По результатам анализа отказов газопроводов, произошедших в условиях Севера, выявлены основные причины аварий газопроводов, табл. 1, разработано «дерево отказов утечки газа из газопровода с оценкой частот реализации отказов [1], рис. 1.

Основными причинами аварий газопроводов являются: возможные механические воздействия третьих лиц — составляют 22 % от возможных причин возникновения аварии, сквозные коррозионные повреждения — 20%, ошибки при сварочных работах — 24%, природные воздействия — 2%, накопление повреждений, износ материала — 13%, ледяные закупорки — 3%, разгерметизация фланца — 16%.

Статистический анализ причин аварий газопроводов показал, что основными факторами возникновения этих событий являются организационные причины, связанные с человеческим фактором и технические причины, связанные со старением и износом газопроводов и коррозионными повреждениями.

Частота утечки газа из газопровода составила $1,3 \cdot 10^{-3}$ км/год (рис. 1), из них утечка газа при полном разрыве газопровода - $1,74 \cdot 10^{-4}$ км/год. Наиболее частыми отказами являются отказы из-за дефектов сварного шва - $3,09 \cdot 10^{-4}$ км/год, механического воздействия третьих лиц - $2,9 \cdot 10^{-4}$ км/год, сквозных коррозионных повреждений - $2,51 \cdot 10^{-4}$ км/год и износа материала трубы - $1,74 \cdot 10^{-4}$ км/год.

По разработанному «дереву событий» истечения газа из газопровода [2 - 5] оценены частоты реализации аварийных сценариев с учетом аномальных метеоусловий, рис. 2.

Частоты реализации сценариев определяем по следующей формуле:

$$H(C_j) = F \cdot \prod_i P_{ji}$$

где F – частота утечки газа из газопровода, 1/(км · год),

P_{ji} – вероятности событий сценария j , $i = 1, 2, 3, \dots$,

C_j – сценарии реализации аварийных ситуаций, $j = 1, 2, 3, \dots$

По результатам анализа «дерева событий» истечения газа из газопровода, рис. 2, наиболее опасные события возникают с частотой порядка 10^{-5} 1/(км · год). При постоянном нахождении человека в зоне возможного действия поражающих факторов, индивидуальный риск будет порядка 10^{-5} 1/(км · год).

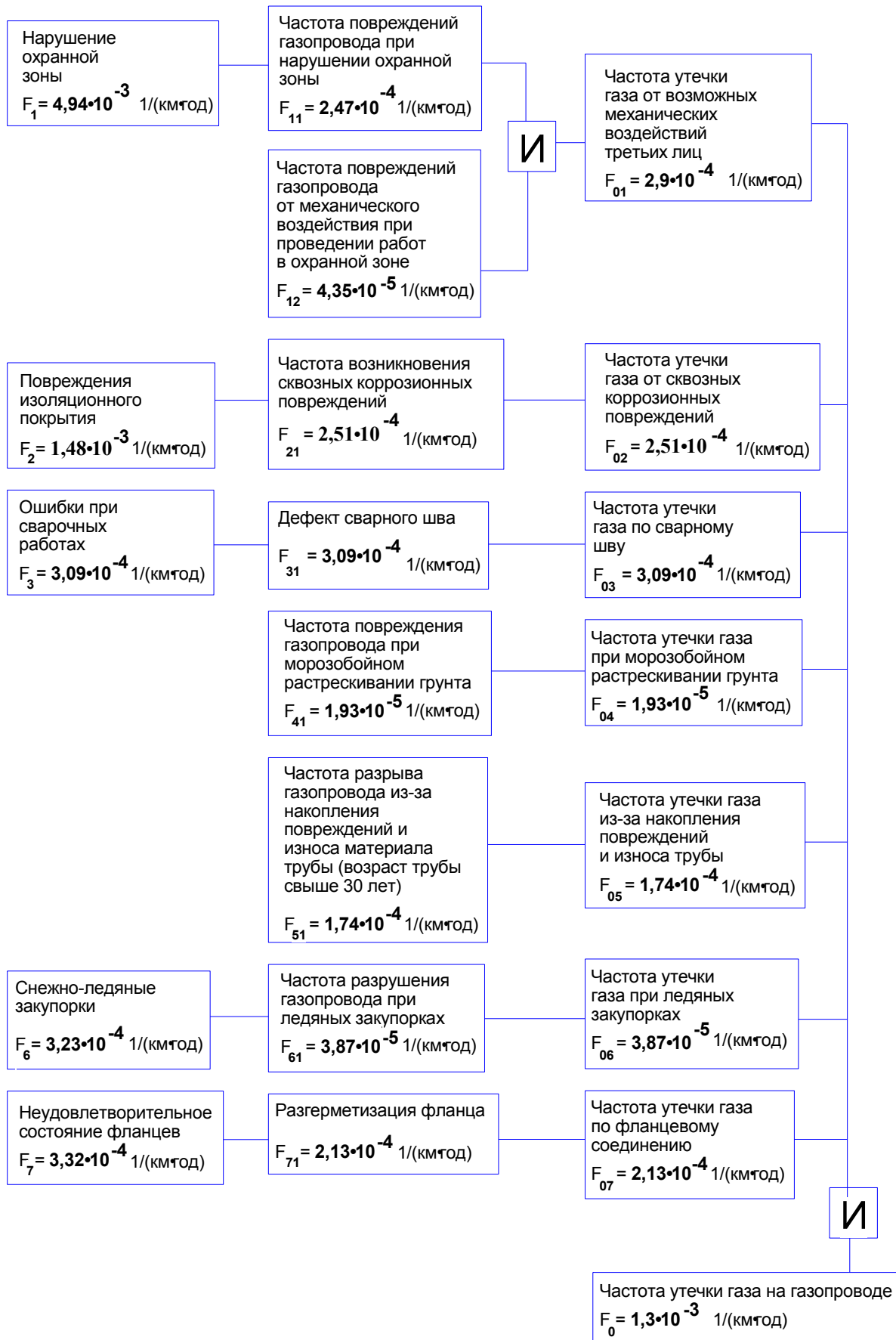


Рис. 1. “Дерево отказов” утечки газа из газопровода в условиях Севера

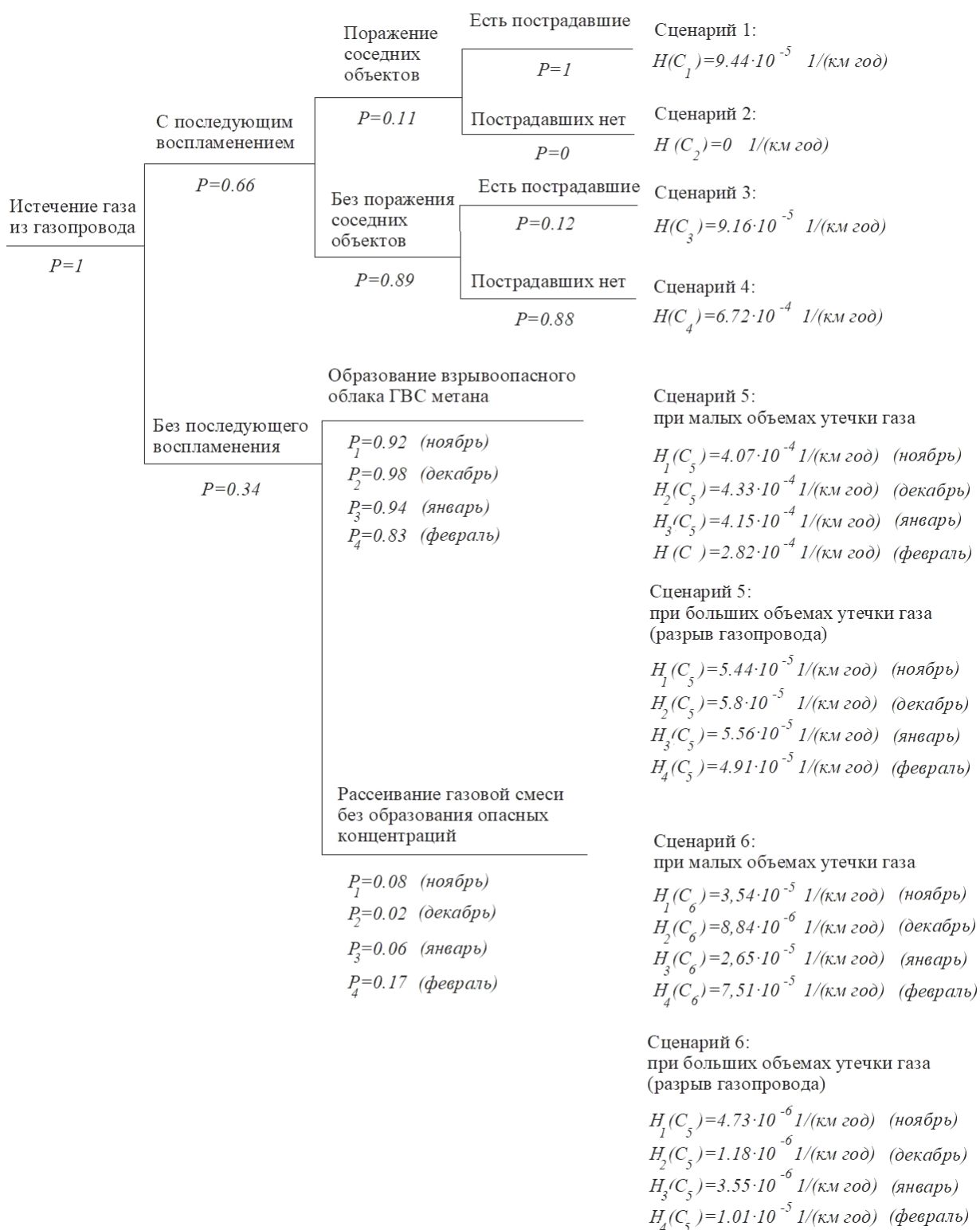


Рис. 2. Оценка частот реализации аварийных сценариев методом “дерева событий” с учетом аномальных метеоусловий при низких температурах окружающей среды

Далее рассмотрим сценарий 5 (рис. 2): разгерметизация (разрыв) трубопровода с истечением (выбросом) природного газа в окружающую среду → образование облака газозвушной смеси (ГВС) метана → взрыв (при наличии источника зажигания) → воздействие поражающих факторов на реципиенты.

При нормальных атмосферных условиях скопления метана в открытом пространстве не наблюдается. Но при аномальных метеоусловиях рассеивание газа в атмосфере замедляется, и происходит образование взрывоопасных концентраций. Это связано с наличием температурной инверсии, которая выступает в роли задерживающего слоя, препятствующего вертикальному перемешиванию воздуха [6 - 9].

Частоты образования облака ГВС метана при больших утечках газа представлены в табл. 2.

Одним из основных поражающих факторов при взрыве облака газозвушной смеси является ударная волна. Температурная инверсия также влияет на величину избыточного давления ударной волны. Схематично это показано на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что происходит эффект фокусировки ударных волн под влиянием температурной инверсии. Когда температура растет с высотой, движение волны в приземном слое будет более медленное и фронт волны отклонится к поверхности земли. При этом возможны увеличения избыточного давления ударной волны от 5 до 100 раз [10], в зависимости от характера инверсии.

В табл. 3 представлены степени поражения реципиентов при усилении избыточного давления ударной волны под влиянием температурной инверсии.

Таблица 2

Частоты образования облака ГВС метана при больших утечках газа (сценарий 5)

Месяцы	Частоты образования облака взрывоопасной ГВС метана, км/год
ноябрь	$5,44 \cdot 10^{-5}$
декабрь	$5,8 \cdot 10^{-5}$
январь	$5,56 \cdot 10^{-5}$
февраль	$4,91 \cdot 10^{-5}$

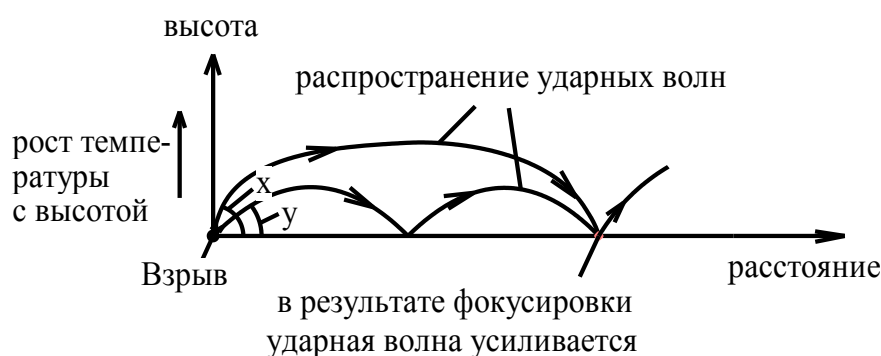


Рис. 3. Эффект фокусировки ударных волн при температурной инверсии

Степени поражения реципиентов при усилении избыточного давления Δp_r (200 Па) слабой ударной волны в зависимости от характера инверсии

Градиент температуры с высотой	$\Delta p_{ю}$, кПа (при отсутствии инверсии)	K	$\Delta p_{фик}$, кПа (при наличии инверсии)	Степень поражения при $\Delta p_{фик}$ (при наличии инверсии)	
				С	П
инверсия	0,2	25	5	легкие повреждения зданий	возможны осколочные травмы
приподнятая инверсия	0,2	100	20	средние повреждения зданий	серьезное повреждение тканей

где K - Коэффициент возможного увеличения избыточного давления $\Delta p_{ю}$ ударной волны; C – сооружения; P – персонал (население).

Таким образом, при аномальных метеоусловиях увеличиваются частота образования взрывоопасных концентраций ГВС облака метана и вероятность поражения ударной волной реципиентов на дальних расстояниях.

Заключение

Частотный анализ аварийных сценариев при отказе газопроводов с учетом аномальных метеоусловий, характерных для низких температур окружающей среды, позволит оценить опасности с неприемлемым уровнем риска, и послужит основой для разработки рекомендаций и мер по уменьшению опасностей.

Литература

1. Большаков А.М., Захарова М.И. Частотный анализ отказов газопроводов, работающих в условиях Севера // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. - 2020. № 3. С. 4-17
2. Marina Zakharova. Risk Analysis of Accidents in Reservoirs and Gas Pipelines for Conditions in the Arctic // Procedia Structural Integrity. - 2019, Vol. 20, Pages 108-112
3. Захарова М.И. Прогнозирование последствий аварий на объектах нефтегазовой промышленности в условиях Арктики // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2019, №6. – С. 78-86
4. Захарова М.И. Анализ риска аварий резервуаров и газопроводов в условиях Севера / Захарова М.И. // Безопасность труда в промышленности. – 2015. - № 2. - С. 54 – 64.
5. Makhutov N.A. Possible Scenarios of Accidents in Reservoirs and Pipelines at Low Operating Temperature / N. A. Makhutov, A. M. Bolshakov, M.I. Zakharova // Inorganic materials. – 2016. - Vol. 52, - No. 15, P. 1524 – 1528
6. Сонькин Л.Р. Некоторые возможности прогноза содержания примесей в городском воздухе / Л.Р. Сонькин // Труды ГГО. – 1973. - Вып. 254. - С. 121—131.
7. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеиздат. - 1975. – 448 с.
8. Анапольская Л.Н. Климатические параметры Восточно-Сибирского и Дальневосточного экономических районов. Научно-справочное пособие / Л.Н. Анапольская, И.Д. Копзнева. – Л.: Гидрометеиздат. - 1979. – 389 с.

9. Захарова М.И. Оценка риска аварийного истечения газа из газопровода при аномальных метеоусловиях Севера // Проблемы анализа риска. – 2018. - Т. 15. - № 2. – С. 78 – 85

10. Меньшиков П.В. Факторы влияющие на интенсивность ударной воздушной волны / П.В. Меньшиков // Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно - технической конференции «Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле». - Екатеринбург. - 2011 г. - С. 246 - 255.

Сведения об авторе

Захарова Марина Ивановна, ведущий научный сотрудник, Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФТПС СО РАН), 677891, г. Якутск, ул. Октябрьская 1, рабочий телефон: (4112) 39-05-52, e-mail: marine3@yandex.ru

УДК 614.8, 519.8, 51-7

DOI: 10.36535/0869-4179-2021-03-7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО ОБОРУДОВАНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ ПУНКТА ПОЛЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Доктор техн. наук В.А. Седнев

Академия государственной противопожарной службы МЧС России

А.В. Седнев

**Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)**

Рассмотрено применение метода статистических испытаний для организации выполнения первоочередных инженерных задач спасательными формированиями и разработан научно-методический подход повышения эффективности применения аварийно-спасательных подразделений в районе чрезвычайной ситуации на примере оборудования и содержания ими пункта полевого водоснабжения.

Ключевые слова: спасательное формирование, организация выполнения задач, эффективность, инженерное обеспечение, поддержка принятия решений.