

Научная статья
УДК 614.842.83.07/.08
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.20.96.007

Алгоритмическое обоснование управленческого решения при ведении боевых действий при пожарах в резервуарах водой и пеной низкой кратности

Тхе Тай Нгуен

*Институт пожарной безопасности МОБ СР Вьетнама, Ханой, Вьетнам
<https://orcid.org/0000-0003-1487-1125>*

Автор, ответственный за переписку: Тхе Тай Нгуен, [thetait.34.36@gmail.com](mailto:thetait34.36@gmail.com)

Аннотация. Научная статья посвящена решению актуальной задачи управления сложной организационно-технической системой, функционирующей в условиях повышенных рисков – пожар в резервуарном парке. Исследование направлено алгоритмическое обоснование принятия управленческого решения при ведении боевых действий при пожарах в резервуарах для руководителя тушения пожара как субъекта управления. В качестве его основы предложены номограммы и расчетные таблицы, позволяющие проводить оперативный сравнительный анализ альтернативных стратегий управления ресурсами (тушение водой или пеной низкой кратности) по ключевым критериям, центральным в данной статье является экономическая эффективность. Разработан алгоритмический аппарат (в виде номограмм и расчетных таблиц) для оценки требуемых ресурсов и прямых экономических затрат при различных сценариях управления. Проведён сравнительный экономико-математический анализ альтернативных стратегий тушения и оценена их эффективность по критерию «затраты–результат». Практическим результатом является инструментарий для количественного обоснования выбора оптимальной стратегии, позволяющий перейти от интуитивных оценок к формализованному планированию и оптимизации затрат. Статья имеет вид прикладного исследования и содержит развернутый расчетно-аналитический аппарат, представляющий ценность для специалистов в области управления рисками и безопасности сложных технических объектов.

Ключевые слова: алгоритм, анализ, методология, номограмма, поддержка, резервуар, ресурсы, тушение, управление, формализация, экономика, эксперимент, эффективность

Для цитирования: Нгуен Т.Т. Алгоритмическое обоснование управленческого решения при ведении боевых действий при пожарах в резервуарах водой и пеной низкой кратности // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 4 (39). С. 74-85. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.20.96.007>.

Original article.

Algorithmic justification of a management decision in the conduct of combat operations in case of fires in tanks with water and foam of low multiplicity

The T. Nguyen

Institute of Fire Safety of the Ministry of Public Security of Vietnam, Hanoi, Vietnam

<https://orcid.org/0000-0003-1487-1125>

Corresponding author: *The T. Nguyen, thet.t34.36@gmail.com*

Abstract. This scientific article addresses the relevant problem of managing a complex organizational and technical system operating under high-risk conditions - specifically, a fire in a tank farm. The study focuses on the algorithmic substantiation of managerial decision-making during firefighting operations in storage tanks, targeting the fire incident commander as the central control agent. As its foundation, the article proposes nomograms and calculation tables that enable rapid comparative analysis of alternative resource management strategies - such as extinguishing with water or low-expansion foam -based on key criteria, with economic efficiency being the central criterion. An algorithmic framework (in the form of nomograms and calculation tables) has been developed to estimate required resources and direct economic costs under various management scenarios. A comparative economathematical analysis of alternative firefighting strategies is conducted, and their effectiveness is evaluated according to the «cost – effectiveness» criterion. The practical outcome is a set of tools for quantitative justification in selecting the optimal strategy, enabling a shift from intuitive assessments to formalized planning and cost optimization. The article represents applied research and includes a comprehensive analytical and computational framework, which holds significant value for specialists in risk management and safety of complex technical facilities.

Keywords: algorithm, analysis, methodology, nomogram, decision support, storage tank, resources, firefighting, fire suppression, management, formalization, economic efficiency/costs, experiment, operational effectiveness

For citation: Nguyen T.T. Algorithmic justification of a management decision in the conduct of combat operations in case of fires in tanks with water and foam of low multiplicity // *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2025. № 4 (39). С. 74-85. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.14.68.008>.

Введение

Современные организационно-технические системы, к которым относятся объекты критической инфраструктуры, такие как нефтехимические кластеры, функционируют в условиях повышенных рисков. Эффективное управление такими системами, особенно в аварийных и чрезвычайных ситуациях - пожары, представляет собой сложную научно-практическую задачу. Пожары в резервуарных парках для хранения нефтепродуктов являются одним из наиболее деструктивных сценариев, угрожающих не только экономической стабильности предприятия и энергетической безопасности региона, но и несущих катастрофические экологические и социальные последствия. В условиях динамично развивающегося пожара руководитель тушения пожара выступает в роли субъекта управления, который должен в режиме жесткого дефицита времени и информации обеспечить координацию распределенных ресурсов (личный состав, техника, огнетушащие вещества и т.п.) для достижения основной цели — ликвидация пожара.

Ключевой проблемой в данной предметной области является необходимость принятия обоснованного управленческого решения по выбору оптимальной стратегии тушения из множества альтернатив. Традиционно доминирующей тактикой является применение пены низкой кратности, однако ее реализация сопряжена с высокими затратами на огнетушащие вещества. Альтернативой выступает тушение мощными водяными струями с использованием

пожарных стволов большой мощности, однако эта стратегия недостаточно формализована с точки зрения ресурсного планирования и экономического обоснования. Таким образом, руководитель тушения пожара сталкивается с классической управленческой дилеммой в условиях неопределенности: выбор между стратегией с высокой надежностью, но экстремальной стоимостью, и стратегией с потенциально низкими затратами, но не до конца ясной эффективностью.

Существующие методики в настоящее время носят рекомендательный характер и не предоставляют аппарата для быстрого сравнительного анализа вариантов управленческих воздействий по четким критериям. Это обуславливает необходимость разработки формализованных моделей и алгоритмов, поддерживающих процесс принятия решений и позволяющих перейти от интуитивных оценок к количественному обоснованию выбора.

Цели и задачи

Цель: алгоритмически обосновать принятие управленческого решения при ведении боевых действий при пожарах в резервуарах для выбора оптимальной стратегии тушения пожара в резервуарах, основанной на многокритериальном сравнении тактик с использованием воды и пены низкой кратности.

Задачи: Формализовать процесс принятия решения руководителем тушения пожара как задачу управления ресурсами организационно-технической системы при пожаре. Разработать алгоритмический аппарат (в виде номограмм и расчетных таблиц) для оценки требуемых ресурсов и прямых экономических затрат при различных сценариях управления. Провести сравнительный экономико-математический анализ альтернативных стратегий тушения и оценить их эффективность по критерию «затраты–результат».

Методы

Моделирования: номограммы и расчетные таблицы являются статистическими и имитационными моделями организационно-технической системы пожаротушения, связывающими входные параметры (диаметр резервуара) с выходными (ресурсы, затраты). Экспертных оценок: углы наклона в номограммах и выбор типов пожарных стволов были основаны на экспертных знаниях, что является методологией структуризации знаний для лица, принимающего решение (руководителя тушения пожара).

Результаты и их обсуждение

Научная новизна работы заключается в применении аппарата исследований операций и системного анализа к задаче управления в условиях пожара, что позволяет формализовать и структурировать ППР, минимизируя влияние неопределенности. Практическая значимость состоит в создании инструментария (номограмм), позволяющего руководителю тушения пожара проводить оперативный анализ «что-если» и выбирать экономически обоснованную стратегию управления ресурсами при ликвидации аварии.

Разработанные номограммы и таблицы позволяют заблаговременно определять оптимальную структуру сил и средств пожарных подразделений и материальных резервов для конкретного объекта. Выявленная 30-кратная разница в стоимости тушения создает веские основания для пересмотра традиционных подходов к планированию мероприятий по ведению боевых действий при пожарах в резервуарах. Экономический критерий не является единственным при выборе стратегии тушения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку многокритериальной модели, учитывающей: Экологические последствия; Тактическую надежность и скорость ликвидации горения; Влияние погодных условий и рельефа местности и т.п.

С учетом изменений геополитической ситуации в мире каждая страна принимает различные меры по обеспечению энергетической безопасности. Но наиболее рациональным

решением будет, если каждая страна будет производить собственную энергию, тогда она не будет сильно зависеть от нестабильного развития геополитической ситуации в мире. Нефть является важным товаром в энергетической безопасности каждой страны, в том числе и Вьетнама. В соответствии с Постановлением Премьер-министра «Об утверждении плана развития системы хранения сырой нефти и нефтепродуктов во Вьетнаме до 2025 года и видение до 2035 года» будут построены и введены в эксплуатацию несколько нефтехимических заводов [1]. Во Вьетнаме действуют 3 нефтехимических завода: Dung Quat – 2009 год (общий инвестиционный капитал 3 млрд. долларов США, мощность 6,5 млн. т/год); Nghi Son – 2018 год (общий объемом инвестиций 9,3 млрд. долларов США, мощность 10 млн. т/год); Long Son – 2025 года (инвестиционный капиталом 5,4 млрд. долларов США) мощностью 1,6 млн. т/год [2].

По опыту, тушение пожаров, возникающих в резервуарах для хранения нефти, осуществляется традиционными методами тушения с использованием пен, порошков, газовых огнетушащих составов [3-22]. При планировании и организации альтернативных стратегий управления на пожарах в резервуарах руководитель тушения пожара (РТП), обеспечивает безопасность личного состава и работников предприятия, учитывает экономические затраты и потери, а также экологические последствия пожара.

С целью проверки гипотезы «о тушении пожара в резервуаре струями воды (прямыми и навесными), перемешиванием», было осуществлено натурное моделирование, на моделях резервуаров. Исследования проводились в 2020-2024 гг. в Москве и на севере Вьетнама на масштабированных моделях (1:120 и 1:53 из пластика и алюминия) резервуаров объемом до 120000 м³. В качестве горючих веществ использовались бензин, сырая легкая нефть и их смеси с водой. Параметры, результаты, которые послужили основой для обоснования управленческого решения при ведении боевых действий в данной публикации следующие: диаметр насадки пожарного ствола, напор на насадке пожарного ствола, угол подачи струи относительно горизонта, высота волны на поверхности зеркала резервуара, площадь пятна смоченной поверхности, коэффициент покрытия водой, результат тушения (потушен/не потушен). Корреляционный анализ массива структурированных данных опытов позволил сделать вывод, о том что они (например для гидравлических опытов) демонстрируют сильную отрицательную связь (коэффициенты Пирсона, Спирмена и р-значение – - 0,987; - 0,985; < 0,001, соответственно). После верификации разработанных модели и алгоритмов [18, 23] подтверждающих гипотезу, было осуществлено алгоритмическое обоснование принятия управленческого решения при ведении боевых действий при пожарах в резервуарах. Основу его составляют: Идентификация параметров ситуации (диаметр резервуара); Параллельный расчет для стратегий (Количество единиц оборудования; Объемы ресурсов; Стоимостные показатели); Сравнительный анализ результатов; Принятие решения на основе доминирующего критерия (экономическая эффективность). Компонент «Параллельный расчет для стратегий» формализован в виде алгоритма оптимизации распределения ресурсов пожаротушения для ведения боевых действий при пожарах в резервуарах, в виде номограмм (Рис.1, 2).

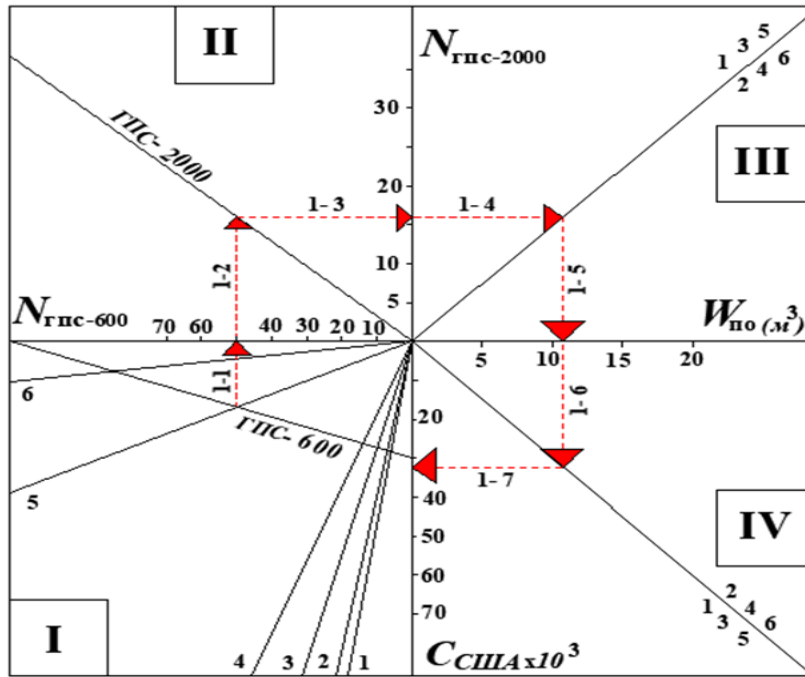


Рис.1. Номограмма оптимизации распределения ресурсов пожаротушения для ведения боевых действий при пожарах в резервуарах (пена низкой кратности, подаваемая на поверхность) и стоимости огнетушащих веществ:

где, 1 – Дрез = 24 м; 2 – Дрез = 26 м; 3 – Дрез = 30 м; 4 – Дрез = 36 м; 5 – Дрез = 69 м; 6 – Дрез = 90 м.

Пунктирной стрелкой обозначен ключ.

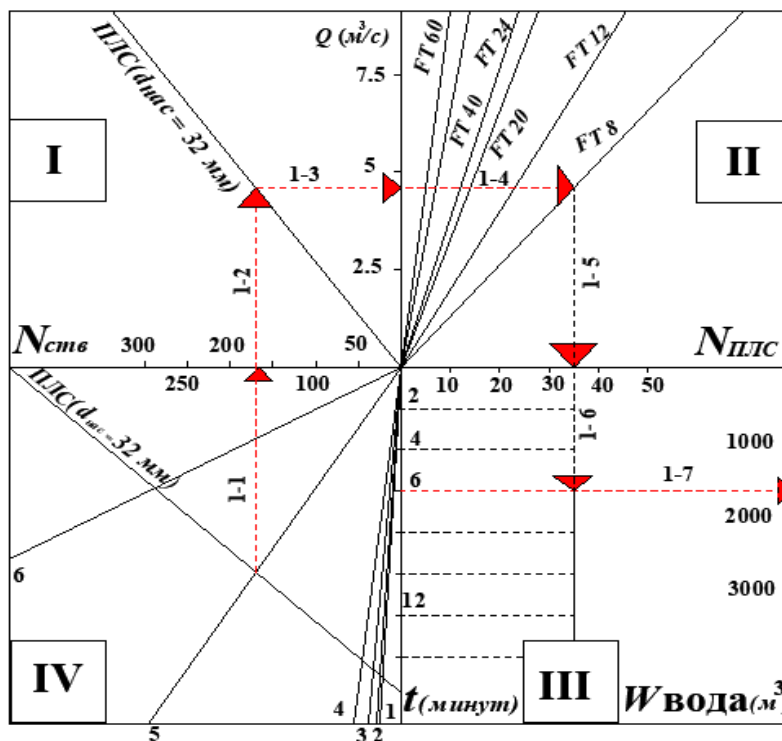


Рис.2. Номограмма оптимизации распределения ресурсов пожаротушения для ведения боевых действий при пожарах в резервуарах (водой)

где, 1 – Дрез = 24 м; 2 – Дрез = 26 м; 3 – Дрез = 30 м; 4 – Дрез = 36 м; 5 – Дрез = 69 м; 6 – Дрез = 90 м.

Пунктирной стрелкой обозначен ключ.

Алгоритмы построения номограмм

Номограмма оптимизации распределения ресурсов пожаротушения для ведения боевых действий при пожарах в резервуарах (пена низкой кратности, подаваемой на поверхность) и стоимости огнетушащих веществ (Рис.1). Размечаем прямоугольную плоскость на четыре квадранта: 1 – нижняя и левая стороны (ось) – диаметры резервуаров (1 - 4; 5,6), правая (ось) - стоимость тушения пожара; 2 – нижняя и правая стороны (ось) – количество генераторов пены, типа ГПС-600 и ГПС-2000, соответственно; 3 – нижняя сторона (ось) – объём пенообразователя. Стороны квадрантов (оси) размечены с переменным шагом. Разметка влияющего параметра «диаметр резервуара» в I квадранте осуществляется под углом 81° для резервуара с диаметром 24 м (1); 79° – 26 м (2); 75° – 30 м; (3); 68° – 36 м (4); 24° – 69 м (5); 7° – 90 м (6). Разметка влияющего параметра «количество пожарных стволов типа ГПС – 600» для подачи пены на зеркало резервуара осуществляется под углом 19° . Разметка влияющего параметра «количество пожарных стволов типа ГПС – 2000» во II квадранте – 40° . Разметка влияющего параметра «диаметр резервуара» для определения расхода пенообразователя в III квадранте – 45° . Разметка влияющего параметра «диаметр резервуара» для определения стоимости тушения пожара пеной в IV квадранте – 45° .

Номограмма оптимизации распределения ресурсов пожаротушения для ведения боевых действий при пожарах в резервуарах (водой) (Рис.2). Размечаем прямоугольную плоскость на четыре квадранта: 1 – нижняя и правая стороны (ось) – количество пожарных стволов, подающих воду и расход воды, соответственно; 2 – нижняя сторона (ось) – количество пожарных стволов, подающих воду; 3 – правая и левая сторона (ось) – объём воды и время подачи воды в резервуар, соответственно; 4 – нижняя сторона (ось) – диаметры резервуаров (1 - 4; 5, 6). Стороны квадрантов (оси) размечены с переменным шагом. Разметка влияющего параметра «диаметр резервуара» в I квадранте осуществляется под углом 87° для резервуара с диаметром 24 м (1); 86° – 26 м (2); 85° – 30 м; (3); 83° – 36 м (4); 57° – 69 м (5); 28° – 90 м (6). Разметка влияющего параметра «ПЛС ($d_{нас} = 32$ мм)» в I и IV квадранте осуществляется под углом 53° и 42° . Разметка влияющего параметра «ПСБМ-Х» (пожарный ствол большой мощности) в II квадранте для подачи воды осуществляется под углом 49° для пожарного ствола «ПСБМ-8»; 60° – «ПСБМ-12»; 71° – «ПСБМ-20»; 73° – «ПСБМ-24»; 80° – «ПСБМ-40»; 83° – «ПСБМ-60». Разметка влияющего параметра «время подачи воды» для определения необходимого объёма воды в III квадранте – 90° .

Алгоритм оптимизации распределения ресурсов пожаротушения при тушении пожаров в резервуарах водой

Анализ результатов эксперимента (только по одному параметру – расход воды) позволил сделать вывод, о том, что при выборе альтернативной стратегии управления тушения пожара в резервуаре диаметром 30 м необходим расход воды не менее 864 л/с. При этом воду необходимо подавать не менее 6 мин [23, 24]. Так как расходы универсальных пожарных стволов варьируются в диапазоне 20 - 160 л/с [25, 26], то с учетом ПСБМ с расходами более 200 л/с [27] осуществим моделирование их использования. Экстраполируем данные ПСБМ на другие резервуары (Табл.1). И сравним стоимость тушения пожара в резервуаре с использованием генераторов пены (Табл.2, 3).

Табл.1. Количество приборов подачи воды для выбора альтернативных стратегий управления тушением пожара в резервуаре и ее стоимость

Параметр/Диаметр резервуара, м		Значение параметра					
		24	26	30	36	69	90
Пожарный ствол с диаметром насадка 32 мм (27 л/с)	Количество, шт	21	24	32	46	170	288
	$W_{вода}, м^3$	204,12	233,28	311,04	447,12	1652,4	2799,36
	Стоимость тушения водой, доллар США	102,06	116,64	155,52	223,56	826,2	1399,68

Пожарный ствол типа FT8 (133,3 л/с)	Количество, шт	5	5	7	10	35	59
	$W_{вода}, M^3$	239,94	239,94	335,916	479,88	1679,58	2831,292
	Стоимость тушения водой, доллар США	119,97	119,97	167,958	239,94	839,79	1415,646
Пожарный ствол типа FT12 (200 л/с)	Количество, шт	3	4	5	7	23	39
	$W_{вода}, M^3$	216	288	360	504	1656	2808
	Стоимость тушения водой, доллар США	108	144	180	252	828	1404
Пожарный ствол типа FT20 (333,3 л/с)	Количество, шт	2	2	3	4	14	24
	$W_{вода}, M^3$	239,976	239,976	359,964	479,952	1679,832	2879,712
	Стоимость тушения водой, доллар США	144	144	216	288	864	1440
Пожарный ствол типа FT24 (400 л/с)	Количество, шт	2	2	3	4	12	20
	$W_{вода}, M^3$	288	288	432	576	1728	2880
	Стоимость тушения водой, доллар США	239,976	239,976	239,976	239,976	839,916	1439,856
Пожарный ствол типа FT40 (666,6 л/с)	Количество, шт	2	2	2	2	7	12
	$W_{вода}, M^3$	479,952	479,952	479,952	479,952	1679,832	2879,712
	Стоимость тушения водой, доллар США	360	360	360	360	900	1440
Пожарный ствол типа FT60 (1000 л/с)	Количество, шт	2	2	2	2	5	8
	$W_{вода}, M^3$	720	720	720	720	1800	2880
	Стоимость тушения водой, доллар США	102,06	116,64	155,52	223,56	826,2	1399,68

Табл.2. Количество огнетушащих веществ и приборов их подачи для выбора альтернативных стратегий управления тушением пожара в резервуаре

Параметр/ Диаметр резервуара, м	Значение параметра						
	24	26	30	36	69	90	
$N_{ГПС}$ - Количество ГПС – 600, шт	6	7	10	14	50	85	
$N_{ГПС}$ - Количество ГПС - 2000, шт	2	3	3	4	15	26	
$W_{ПО}$ - Количество пенообразователя, л (без учета запаса)	ГПС - 600	1296	1512	2160	3024	10800	18360
	ГПС - 2000	1440	2160	2160	2880	10800	18720
$W_{туш}^{вода}$ - Количество воды, M^3 (без учета запаса)	ГПС - 600	20,304	23,688	33,84	47,376	169,2	287,64
	ГПС - 2000	22,56	33,84	33,84	45,12	169,2	293,28
$W_{ПО}$ - Количество пенообразователя, л (коэффициент запаса - 3)	ГПС - 600	3888	4536	6480	9072	32400	55080
	ГПС - 2000	4320	6480	6480	8640	32400	56160
$W_{туш}^{вода}$ - Количество воды, M^3 (коэффициент запаса - 3)	ГПС - 600	60,912	71,064	101,52	142,128	507,6	862,92
	ГПС - 2000	67,68	101,52	101,52	135,36	507,6	879,84

Табл.3. Стоимость огнетушащих веществ для тушения пожара в резервуаре

Параметр/ Диаметр резервуара, м	Значение параметра					
	24	26	30	36	69	90
Стоимость пенообразователя, доллар США (без учета запаса для ГПС - 600)	3888	4536	6480	9072	32400	55080
Стоимость воды, доллар США (без учета запаса для ГПС - 600)	10,152	11,844	16,92	23,688	84,6	143,82
Итого, доллар США	3898,152	4547,844	6496,92	9095,688	32484,6	55223,82
Стоимость пенообразователя, доллар США (без учета запаса для ГПС - 2000)	4320	6480	6480	8640	32400	56160
Стоимость воды, доллар США (без учета запаса для ГПС - 2000)	11,28	16,92	16,92	22,56	84,6	146,64
Итого, доллар США	4331,28	6496,92	6496,92	8662,56	32484,6	56306,64

Стоимость пенообразователя, доллар США (коэф. запаса - 3)	ГПС - 600	11664	13608	19440	27216	97200	165240
	ГПС - 2000	12960	19440	19440	25920	97200	168480
Стоимость воды, доллар США (коэф. запаса - 3)	ГПС - 600	30,456	35,532	50,76	71,064	253,8	431,46
	ГПС - 2000	33,84	50,76	50,76	67,68	253,8	439,92
Итого, доллар США	ГПС - 600	11694,46	13643,53	19490,76	27287,06	97453,8	165671,5
	ГПС - 2000	12993,84	19490,76	19490,76	25987,68	97453,8	168919,9

Заключение

Алгоритмически обосновано принятие управленческого решения при ведении боевых действий при пожарах в резервуарах, для управления ресурсами организационно-технической системы при ликвидации аварий, позволяющая количественно оценивать альтернативы.

Предложенный алгоритмический аппарат (номограммы, таблицы) формализует и структурирует процесс принятия решений ЛПП, снижая уровень неопределенности и риск человеческой ошибки.

Описана методика натурного моделирования, на моделях резервуаров использованная для верификации ключевых параметров принятия управленческого решения при ведении боевых действий при пожарах в резервуарах, что повышает достоверность получаемых результатов.

На основе экономико-математического моделирования установлено, что для рассматриваемого класса систем (резервуарные парки) стратеги управления при пожаре в резервуаре водой является доминирующей по критерию минимизации прямых затрат, что должно учитываться при планировании.

Предложенное обоснование принятия управленческого решения при ведении боевых действий при пожарах в резервуарах может быть адаптировано для включения дополнительных критериев эффективности (экологические, временные), что определяет направление дальнейших исследований.

Список источников

1. Решение Премьер Министра Вьетнама от 13 июля 2017 г. - № 1030/2017/QĐ-TTg «Утверждении плана развития системы хранения сырой нефти и нефтепродуктов во Вьетнаме до 2025 года и перспективе до 2035 года» [Электронный ресурс] // Документы: <https://tulieuvankien.dangcongsan.vn/he-thong-van-ban/van-ban-quy-pham-phap-luat/quyet-dinh-so-1030qd-ttg-ngay-1372017-cua-thu-tuong-chinh-phu-phe-duyet-quy-hoach-phat-trien-he-thong-du-tru-dau-tho-va-cac-3357> (дата обращения 28.10.2025).

2. Нгуен, Т.Т. Боеготовность специализированных пожарных команд нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса Вьетнама / Т.Т. Нгуен, А.Н. Денисов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, в 2 ч., Москва, 17–18 марта 2022 года. Том Часть 1. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2022. – С. 60-62. – EDN ZLINAO.

3. Принятие решений при опорных действиях пожаротушения нефтяных резервуаров / С. В. Гундар, М. М. Данилов, М. А. Данилова и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – 116 с.

4. Таранцев А.А., Марухин П.Н., Пивоваров Н.Ю., Матвеев А.В. Способ подачи огнетушащей жидкости на охлаждение дыхательной арматуры и орошение резервуаров с нефтепродуктами // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2016. №. 3. С. 62-66.

5. Lang Xu-qing, Liu Quan-zhen. Study of Fire Fighting System to Extinguish Full Surface Fire of Large Scale Floating Roof Tanks // The 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering. – 2011. – Vol. 11. – P. 189-195. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.04.646.

6. Liu X.Y. The Petrochemical Park Fire Safety Planning Study Based on Fire Risk Analysis // *Advanced Materials Research*. 2012. – Vols. 518-523, P. 1045-1051. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.1045.
7. Liu X.Y., Wang X.Z. Fire Risk Forecast and Early Warning Technology for Large Oil and Gas Storage & Transport Tank Areas // *Advanced Materials Research*. 2013 – Vols. 726-731. – P. 4654-4659. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.726-731.4654.
8. Mehrzad Ebrahemzadieh, Afshin Maleki, Ebrahim Darvishi, Mehdi Meimanat Abadi, Saeed Dehestaniathar. The Analysis of Process Accidents Due to Risks in the Petrochemical Industries – The Case Study of Radiation Intensity Determination Proportional to Distance from Tank Level // *Open Journal of Safety Science and Technology*. 2015. – Vol. 5, No. 2 – P. 21-26. DOI: 10.4236/ojsst.2015.52003.
9. Peng S.T., Sun Y., Zhou R., Wang X.L., Guan W. L. Assessments on Fire and Explosion of Petrochemical Wharf Storage Tank Area Using DOW Method and Fuzzy Comprehensive Evaluation Model // *Applied Mechanics and Materials*. 2014 – Vols. 638-640. – P. 1986-1992. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.638-640.1986.
10. Wan H.B., Yun Y.X. Study on Fire Safety Planning in Chinese Petrochemical Industry Parks // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Vols. 260-261. – P. 279- 283. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.260-261.279.
11. Xuanya Liu, Qinglin Zhang, Xiaoyuan Xu. Petrochemical Plant multi-Objective and multi-Stage fire Emergency Management Technology System Based on the fire risk Prediction // *9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*. 2013. – Vol. 62. – P. 1104-1111. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.08.167.
12. Yi-fei Meng, Dong-feng Zhao, Zhi-qiang Zhao. Preliminary Study on Safety Performance Evaluation of Petrochemical Plant Layout // *International Conference on 115 Performance-based Fire and Fire Protection Engineering*. 2013. – Vol. 52. – P. 277- 283. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.140.
13. Нгуен, М.Х. Некоторые аспекты организации тушения пожаров на объектах нефтепереработки в Социалистической Республике Вьетнам [Электронный ресурс] / М.Х. Нгуен, А.Н. Денисов // *Технологии техносферной безопасности*. – 2007 – Вып. 6 (16) – Режим доступа <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-6/09-06-07.ttb.pdf> (дата обращения 29.07.2024).
14. Брусневич, Х. Пожары резервуаров с нефтепродуктами - факты и опыт. – М.: Недра, 1986. – 134 с.
15. Хыонг, Н.М. О расчёте сил и средств пожарных подразделений на начальном этапе тушения пожаров на объектах нефтепереработки [Электронный ресурс] / Н.М. Хыонг, А.Н. Денисов // *Технологии техносферной безопасности*. – 2010. – № 4(32). – 5 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-4/04-04-10.ttb.pdf>.
16. Волков, О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. [Текст] / О.М. Волков. – СПб: Изд-во Политехнического университета, 2010. – 398 с.
17. Денисов, А.Н. Краткий мировой обзор и анализ описания пожаров объектов нефтеперерабатывающего комплекса [Текст] / А.Н. Денисов, М.М. Данилов // *Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции*. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2015. – Ч. 1. – 220 с. – С. 57–63.
18. Denisov, A.N., Nguyen The Tai. Algorithm for supporting management decision-making on the placement of the positions of the trunk operators when extinguishing fires in the tanks of Vietnam [Electronic resource] / A.N. Denisov, The Tai Nguyen // *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*. –2021. – Vol.12 – No. 5. – Pp. 709–713. - Access mode: <https://turcomat.org/index.php/turkbilmat/article/view/1472> (accessed: 28.10.2025).
19. Нгуен, Т.Т. Боеготовность специализированных пожарных команд нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса Вьетнама / Т.Т. Нгуен, А.Н. Денисов // *Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации»* – М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. – Ч. 1. – 392 с. – С. 61–63. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=zlinao&ysclid=lz6kfytw018272763> (дата обращения 28.10.2025).
20. Буй, К.Т. Проблемы локализации разливов нефтепродуктов при авариях резервуаров на объектах нефтегазовой промышленности Вьетнама и России [Текст] / К.Т. Буй // *Материалы*

30-ой Международной научно-технич. конф.: Системы безопасности – 2021. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 47–51.

21. Шароварников, А.Ф. Молчанов, В.П. Воевода, С.С. Шароварников, А.С. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов [Текст] – М.: Издательский дом «Калан», 2002. – 448 с.

22. Абдурагимов, И.М. О роли изолирующей способности воздушно - механической пены при тушении нефтепродуктов в резервуарах [Электронный ресурс] / И.М. Абдурагимов // Горение и проблемы тушения пожаров. – М.: ВНИИПО, 1978. – С. 99–102. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-mehanizmah-ognetushaschego-deystviya-sredstv-pozharotusheniya/viewer> (дата обращения 28.10.2025).

23. Денисов А.Н., Нгуен Тхе Тай. Модель и алгоритмы задачи идентификации ситуаций при ведении действий по тушению пожара // Технологии техносферной безопасности. 2022. Вып. 2 (96). С. 151-160. <https://doi.org/10.25257/TTS.2022.2.96.151-160>.

24. Денисов, А.Н. Формализация граничных условий для моделей и алгоритмов задачи идентификации ситуаций, складывающихся на месте пожара / А.Н. Денисов, Т.Т. Нгуен // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2023. – № 1-2. – С. 26-30. – DOI 10.37882/2223-2966.2023.01-2.05. – EDN ETADMQ.

25. Осипов, А.Г. Анализ тактико-технических характеристик пожарных стволов, применяемых для тушения пожаров в Сибири / А.Г. Осипов, С.М. Насыркулова, М.А. Савина // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 13-18. – EDN IZWSDC.

26. Степанов, О.И. Экспериментальное обоснование создания позиций по тушению с применением специальных пожарных автомобилей / О.И. Степанов, А.Н. Денисов // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27, № 11. – С. 58-66. – DOI 10.18322/PVB.2018.27.11.58-66. – EDN YQJON.

27. Стационарные лафетные стволы с ручным управлением (ЛС-С330(200,250)) [Электронный ресурс]. URL: <https://firerobots.ru/product/lss330200250> (дата обращения: 28.10.2025).

References

1. Decision of the Prime Minister of Vietnam dated July 13, 2017 - No. 1030/2017/QĐ-TTg "Approval of the plan for the development of the storage system for crude oil and petroleum products in Vietnam until 2025 and the future until 2035" [Electronic resource] // Documents: <https://tulieuvankien.dangcongsan.vn/he-thong-van-ban/van-ban-quy-pham-phap-luat/quyet-dinh-so-1030qd-ttg-ngay-1372017-cua-thu-tuong-chinh-phu-phe-duyet-quy-hoach-phat-trien-he-thong-du-tru-dau-tho-va-cac-3357> (accessed: 28.10.2025).

2. Nguyen, T.T. Combat readiness of specialized fire brigades of the oil refining and petrochemical complex of Vietnam / T.T. Nguyen, A.N. Denisov // Firefighting: problems, technologies, innovations: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, at 2 a.m., Moscow, March 17-18, 2022. Volume Part 1. – Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 2022. – pp. 60-62. – EDN ZLINAO.

3. Decision-making in supporting fire extinguishing actions of oil reservoirs / S. V. Gundar, M. M. Danilov, M. A. Danilova et al. - Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018. – 116 p.

4. Tarantsev A.A., Marukhin P. N., Pivovarov N. Yu., Matveev A.V. Method of supplying extinguishing liquid for cooling breathing valves and irrigation of tanks with petroleum products // Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia". 2016. No. 3. pp. 62-66.

5. Lang Xu-qing, Liu Quan-zhen. Study of Fire Fighting System to Extinguish Full Surface Fire of Large Scale Floating Roof Tanks // The 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering. – 2011. – Vol. 11. – P. 189-195. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.04.646.

6. Liu X.Y. The Petrochemical Park Fire Safety Planning Study Based on Fire Risk Analysis // Advanced Materials Research. 2012. – Vols. 518-523, P. 1045-1051. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.1045.

7. Liu X.Y., Wang X.Z. Fire Risk Forecast and Early Warning Technology for Large Oil and Gas Storage & Transport Tank Areas // *Advanced Materials Research*. 2013 – Vols. 726-731. – P. 4654-4659. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.726- 731.4654.
8. Mehrzad Ebrahemzadieh, Afshin Maleki, Ebrahim Darvishi, Mehdi Meimanat Abadi, Saeed Dehestaniathar. The Analysis of Process Accidents Due to Risks in the Petrochemical Industries – The Case Study of Radiation Intensity Determination Proportional to Distance from Tank Level // *Open Journal of Safety Science and Technology*. 2015. – Vol. 5, No. 2 – P. 21-26. DOI: 10.4236/ojsst.2015.52003.
9. Peng S.T., Sun Y., Zhou R., Wang X.L., Guan W.L. Assessments on Fire and Explosion of Petrochemical Wharf Storage Tank Area Using DOW Method and Fuzzy Comprehensive Evaluation Model // *Applied Mechanics and Materials*. 2014 – Vols. 638-640. – P. 1986-1992. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.638-640.1986.
10. Wan H.B., Yun Y.X. Study on Fire Safety Planning in Chinese Petrochemical Industry Parks // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Vols. 260-261. – P. 279- 283. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.260-261.279.
11. Xuanya Liu, Qinglin Zhang, Xiaoyuan Xu. Petrochemical Plant multi-Objective and multi-Stage fire Emergency Management Technology System Based on the fire risk Prediction // 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. 2013. – Vol. 62. – P. 1104-1111. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.08.167.
12. Yi-fei Meng, Dong-feng Zhao, Zhi-qiang Zhao. Preliminary Study on Safety Performance Evaluation of Petrochemical Plant Layout // *International Conference on 115 Performance-based Fire and Fire Protection Engineering*. 2013. – Vol. 52. – P. 277- 283. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.140.
13. Nguyen, M.H. Some aspects of fire extinguishing at oil refining facilities in the Socialist Republic of Vietnam [Electronic resource] / M.H. Nguyen, A.N. Denisov // *Technosphere safety technologies*. – 2007 – Issue 6 (16) – Access mode <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-6/09-06-07.ttb.pdf> (accessed: 29.07.2024).
14. Brusnevich, H. Fires of tanks with petroleum products - facts and experience. – M.: Nedra, 1986. – 134 p.
15. Huong, N.M. On the calculation of the forces and means of fire departments at the initial stage of extinguishing fires at oil refining facilities [Electronic resource] / N.M. Huong, A.N. Denisov // *Technosphere safety technologies*. – 2010. – № 4(32). – 5 C. – Access mode: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-4/04-04-10.ttb.pdf>.
16. Volkov, O.M. Fire safety of tanks with petroleum products. [Text] / O.M. Volkov. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2010. 398 p.
17. Denisov, A.N. A brief global overview and analysis of the description of fires at oil refining facilities [Text] / A.N. Denisov, M.M. Danilov // *Firefighting: problems, technologies, innovations: a collection of abstracts of the international scientific and practical conference*. – M.: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia. – 2015. – Part 1. – 220 p. – pp. 57-63.
18. Denisov, A.N., Nguyen The Tai. Algorithm for supporting management decision-making on the placement of the positions of the trunk operators when extinguishing fires in the tanks of Vietnam [Electronic resource] / A.N. Denisov, The Tai Nguyen // *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*. –2021. – Vol.12 – No. 5. – Pp. 709–713. - Access mode: <https://turcomat.org/index.php/turkbilmat/article/view/1472> (accessed: 28.10.2025).
19. Nguyen, T.T. Combat readiness of specialized fire brigades of the oil refining and petrochemical complex of Vietnam / T.T. Nguyen, A.N. Denisov // *Proceedings of the VIII International Scientific and practical conference "Firefighting: problems, technologies, innovations" - Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2022. – Part 1. – 392 p. – Pp. 61-63. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=zlinao&ysclid=1z6kfgytw018272763> (accessed: 28.10.2025).*
20. Bui, K.T. Problems of localization of oil product spills during tank accidents at oil and gas industry facilities in Vietnam and Russia [Text] / K.T. Bui // *Proceedings of the 30th International Scientific and Technical Conference: Safety Systems - 2021. Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2021. – pp. 47-51.*

21. Sharovarnikov, A.F. Molchanov, V.P. Voevoda, S.S. Sharovarnikov, A.S. Extinguishing fires of oil and petroleum products [Text] – Moscow: Kalan Publishing House, 2002. – 448 p.

22. Abduragimov, I.M. On the role of insulating ability of air-mechanical foam in extinguishing petroleum products in tanks [Electronic resource] / I.M. Abduragimov // Gorenje i problemy extinguishatsii fireski. – M.: VNIPO, 1978. – pp. 99-102. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-mehanizmah-ognetushaschego-deystviya-sredstv-pozharotusheniya/viewer> (accessed: 28.10.2025).

23. Denisov A.N., Nguyen Thae Thai. The model and algorithms of the problem of identifying situations when conducting fire extinguishing operations // Technosphere safety technologies. 2022. Issue 2 (96). pp. 151-160. <https://doi.org/10.25257/TTS.2022.2.96.151-160>.

24. Denisov, A.N. Formalization of boundary conditions for models and algorithms of the problem of identifying situations developing at the site of a fire / A.N. Denisov, T. T. Nguyen // Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences. - 2023. – No. 1-2. – pp. 26-30. – DOI 10.37882/2223-2966.2023.01-2.05. – EDN ETADMQ.

25. Osipov, A.G. Analysis of the tactical and technical characteristics of fire barrels used to extinguish fires in Siberia / A.G. Osipov, S. M. Nasyrkulova, M.A. Savina // Youth Bulletin of IrSTU. – 2020. – Vol. 10, No. 3. – pp. 13-18. – EDN IZWSDC.

26. Stepanov, O.I. Experimental substantiation of the creation of extinguishing positions using special fire trucks / O.I. Stepanov, A.N. Denisov // Fire and explosion safety. – 2018. – Vol. 27, No. 11. – pp. 58-66. – DOI 10.18322/PVB.2018.27.11.58-66. – EDN YQIJOH. 28. Stationary carriage barrels with manual control (LS-S330 (200,250)) [Electronic resource]. URL: <https://firerobots.ru/product/lss330200250> (accessed: 28.10.2025).

27. Stationary carriage barrels with manual control (LS-S330 (200,250)) [Electronic resource]. URL: <https://firerobots.ru/product/lss330200250> (accessed: 28.10.2025).

Статья поступила в редакцию 30.10.2025, одобрена после рецензирования 01.12.2025, принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 30.10.2025, approved after reviewing 01.12.2025, accepted for publication 15.12.2025.