

Научная статья

УДК 614.84

doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.86.50.004

Графическая модель интерпретации управления на этапах тушения пассажирского железнодорожного подвижного состава в том числе при использовании нейронных сетей

Сергей Николаевич Аникин

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-8996-0192>

Автор, ответственный за переписку: Аникин Сергей Николаевич, neytrinos@mail.ru

Аннотация. В статье проанализированы различные научные и нормативные подходы к интерпретации этапов тушения пожаров, выявлены недостатки существующих моделей, не учитывающих дискретность управленческих действий по тушению пожаров. На основе требований ведомственных документов предложена уточнённая классификация этапов боевых действий, ориентированная на процесс принятия решений руководителем тушения пожара в рамках организации тушения пожара пассажирского железнодорожного подвижного состава. Разработана графическая модель управления силами и средствами в виде составной геометрической фигуры, где каждый сегмент соответствует отдельному этапу тушения и характеризует объём принятых решений руководителем тушения пожара. Обоснована необходимость применения ряда допущений, обеспечивающих унификацию возможностей применения разработанной модели, а также обосновано применение базового утверждения: чем меньше общий объём составной фигуры, тем выше эффективность совокупности принятых решений руководителем тушения пожара. Построена математическая модель, включающая зависимости от времени, своевременности и адекватности решений. Отдельное внимание уделено влиянию программного обеспечения с использованием нейронных сетей на процесс управления тушением пожара. Введены графические элементы «шайба», «обод» и «пересечение», отражающие положительный и отрицательный эффекты применения искусственного интеллекта на разработанную графическую модель, которая позволяет визуализировать и оптимизировать управленческие процессы при тушении пожаров в том числе пожаров пассажирских железнодорожного подвижных составов.

Ключевые слова: тушение пожара, пассажирский железнодорожный состав, принятие решений, управление, нейронные сети

Для цитирования: Аникин С.Н. Графическая модель интерпретации управления на этапах тушения пассажирского железнодорожного подвижного состава в том числе при использовании нейронных сетей // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 43-55. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.86.50.004>.

Original article.

A graphical model for interpreting control during the extinguishing stages of passenger railway rolling stock, including the use of neural networks

Sergey N. Anikin

Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-8996-0192>

Corresponding author: Sergei N. Anikin, neytrinos@mail.ru

Abstract. The article analyzes various scientific and regulatory approaches to the interpretation of fire extinguishing stages, identifies the shortcomings of existing models that do not take into account the discreteness of management actions to extinguish fires. Based on the requirements of departmental documents, a refined classification of the stages of combat operations is proposed, focused on the decision-making process of the fire extinguishing manager within the framework of the organization of fire extinguishing of passenger railway rolling stock. A graphical force and means management model has been developed in the form of a composite geometric figure, where each segment corresponds to a separate stage of extinguishing and characterizes the scope of decisions made by the fire extinguishing manager. The necessity of applying a number of assumptions ensuring the unification of the possibilities of using the developed model is substantiated, and the application of the basic statement is also justified: the smaller the total volume of the composite figure, the higher the effectiveness of the totality of decisions taken by the fire extinguishing manager. A mathematical model is constructed that includes dependencies on time, timeliness, and adequacy of decisions. Special attention is paid to the impact of software using neural networks on the fire extinguishing management process. The graphical elements "washer", "rim" and "intersection" have been introduced, reflecting the positive and negative effects of the use of artificial intelligence on the developed graphical model, which makes it possible to visualize and optimize management processes in extinguishing fires, including fires of passenger railway rolling stock.

Keywords: fire extinguishing, passenger train, decision-making, management, neural networks

For citation: Anikin S.N. Graphical model of Control interpretation at the stages of extinguishing Passenger Railway Rolling stock, including using Neural Networks // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 3 (38). С. 43-55. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.86.50.004>.

В соответствии с регламентирующими документами, организация тушения пожара после выезда представляет собой ряд мероприятий, направленных на скорейшую ликвидацию пожара и его последствий.

В рамках научных исследований в области тактики тушения пожаров разными учеными моделировались различные варианты организации управления силами и средствами на пожаре. Так в источнике [1] процесс организации тушения (и выбора альтернатив, в частности) представляется в виде GERT-сети. Так, дуга рассматриваемого графа характеризуется распределением случайной величины Z_{ij} (время выполнения работы на пожаре на примере выборки из массива (типовые работы и операции при тушении пожаров на примере подземных сооружений)). Однако, данный подход не предполагает дискретность этапов тушения в чистом виде ввиду протяженности ряда операций по времени.

В ряде иных источников этапы тушения пожаров также не выделяются и не исследуются в виде дискретных элементов системы управления [2]. В них, как правило, имеет место перечисление этапов тушения в соответствии с актуальными регламентирующими ведомственными документами [3] без распределения на дискретные участки.

В работе [4] представлены «модель и алгоритмы задачи идентификации ситуации, складывающейся на пожаре, которые являются не только моделью (алгоритмом) для одной ситуации, но и моделью общего класса задач, решаемых пожарными подразделениями (пожарной охраной) при организации планирования ведения боевых действий». Вместе с тем,

несмотря на разделение процесса тушения на этапы, в данной работе приводится иная классификация боевых действий по тушению в рамках разработанного алгоритма идентификации ситуации на пожаре [4], а именно «боевые действия по тушению пожара проводятся до прибытия к месту пожара», «боевые действия по тушению пожара проводятся на месте пожара», «боевые действия по тушению пожаров проводятся в соответствии с теорией пожаротушения» и «боевые действия по тушению пожаров проводятся в соответствии с мнением РТП».

В работе [5] «моделирование управления пожаротушением на объектах энергетики» формализовано в виде реляционной модели. Модель детализирована для поэтапного управленческого воздействия на месте пожара, в виде объединения условий и описаний, модификации и интерпретации управления боевыми действиями участников пожаротушения». Так, этапы тушения формализованы через реляционную модель управления, выраженную через множество исходных оперативных задач управления, множество преобразованных управленческих задач на пожаре, текущую интерпретацию преобразованных оперативных управленческих задач из множества и т.д. Данный подход также не учитывает формализацию этапов тушения пожара в соответствии с [3].

В работе [6] представлена модель временных периодов пожара, включающая в себя в том числе начало тушения, прекращение ОФП (может быть интерпретирован как этап ликвидации открытого горения) и этап ликвидации пожара, однако, в ней не учтен этап проведения аварийно-спасательных работ и убытие к месту постоянной дислокации подразделения. Акцент работы при этом сосредоточен на обеспечении безопасной эвакуации населения при тушении монорельса.

Таким образом, основополагающим нормативным документом, позволяющим явно и более детально формализовать дискретные этапы тушения пожаров системы управления в графическом виде (в частности, на пассажирских железнодорожных подвижных составах) является [3].

Конструктивная особенность подвижных железнодорожных составов зачастую не позволяет распространяться огню далее, чем за пределы вагонов состава, за исключением случаев разлива нефтепродуктов или иных горючих веществ в случае разгерметизации тары вагона на пожаре (что не характерно для пассажирских железнодорожных подвижных составов). Этим же объясняется и достаточно малое среднее количество привлекаемой техники. В редких случаях огонь распространяется за пределы одного вагона, при этом для локализации и ликвидации пожара достаточно 2-3 единиц пожарной техники. Таким образом, большинство пожаров пассажирских подвижных железнодорожных составов имеют сопоставимые параметры как в части привлечения сил и средств пожарной охраны, так и в части параметров развития и тушения пожаров такого типа.

Учитывая требование п.4 [3], действия по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ (далее – АСР, боевые действия) осуществляются посредством применения сил и средств подразделений пожарной охраны, включающего следующие этапы:

1. Прием сообщения о пожаре и (или) необходимости проведения АСР.
2. Сбор, выезд и следование к месту вызова.
3. Прибытие к месту вызова.
4. Спасение людей, тушение пожара, проведение АСР.

Основываясь на требованиях данного пункта, автором проведено перераспределение последовательности действий на этапы, акцентируя внимание на принятии решения руководителем тушения пожара (далее – РТП), которые он принимает на принципах единоначалия и сформирована модель, в которую входит:

1. Сбор, выезд и следование к месту вызова.
2. Развертывание сил и средств, постановка задач каждому из подразделений, развертывание оперативного штаба пожаротушения.

3. Организация спасения людей и все решения, связанные с данной задачей.
4. Организация тушения пожара и все решения, связанные с данной задачей.
5. Проведение АСР, включая разбор завалов, и все решения, связанные с данной задачей.

В качестве альтернативной версии разделения этапов тушения автором предлагается вариант:

1. Решения от момента высылки сил и средств, до начала эффективных действий (подачи первого ствола на тушение).
2. Разведка пожара, выбор решающего направления, определение зоны пожара.
3. Действия по тушению, локализация пожара.
4. Ликвидация пожара.
5. Ликвидация последствий пожара.
6. Сбор ПТВ и убытие в места постоянной дислокации.

Модель представляет собой систему, позволяющую описать рассматриваемую последовательность этапов тушения пассажирских железнодорожных подвижных составов, на которых РТП принимает единоличные решения. В данной интерпретации модель представляет из себя составную геометрическую фигуру (далее - фигура) в виде трубы с переменным сечением, где каждая секция характеризует отдельный дискретный этап тушения пожара в зависимости от выбранной схемы тушения, разделенной на этапы (Рис.1).

Предполагается, что чем меньшее значение имеет общий объем этой фигуры (трубы с переменным сечением), тем эффективнее был потушен пожар (базовое утверждение).

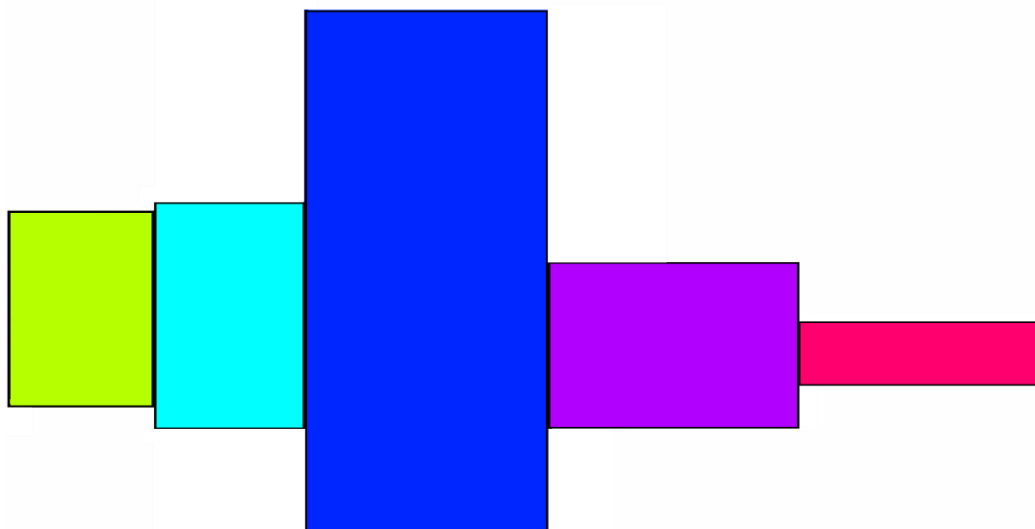


Рис.1. Составная геометрическая фигура в виде трубы с переменным сечением

На Рис.1 каждый отдельный этап выражен секцией определенного диаметра, выделенного цветом для лучшего восприятия.

Каждая из секций характеризует собой совокупность принятых решений, объединенный в единый объем в рамках конкретного этапа, включающего в себя подмножество этих решений, выраженных через единый объем.

В графическом виде подмножество решений представляется на Рис.2.

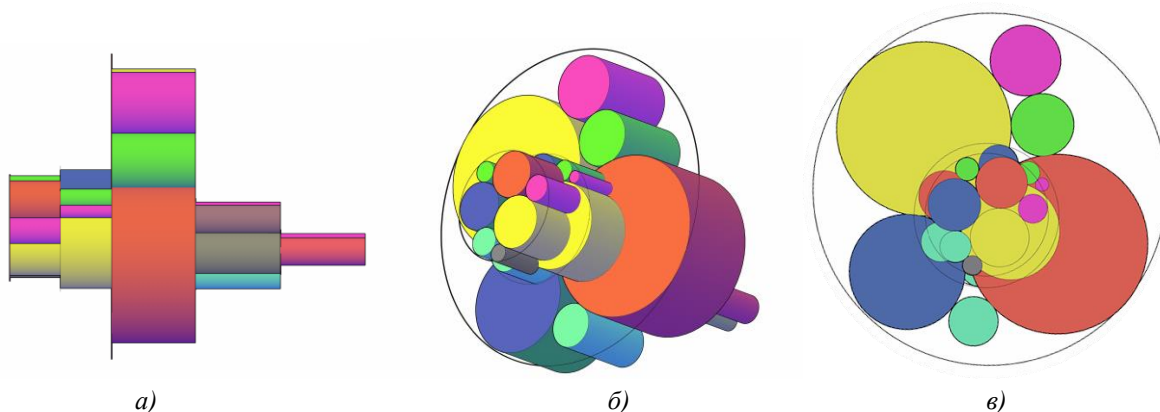


Рис.2. Отдельные дискретные этапы тушения пожара

Кроме того, на Рис.2б и Рис.2в для наглядности нанесены диаметры секций (этапов), включающие подмножество решений в рамках определенного этапа, представляющие из себя цилиндры с различным сечением и различного цвета (далее – цилиндры).

На Рис.3а и Рис.3б видно, что общий диаметр визуальнее больше, чем сумма площади диаметров каждого из цилиндров, представляющих собой отдельные решения.

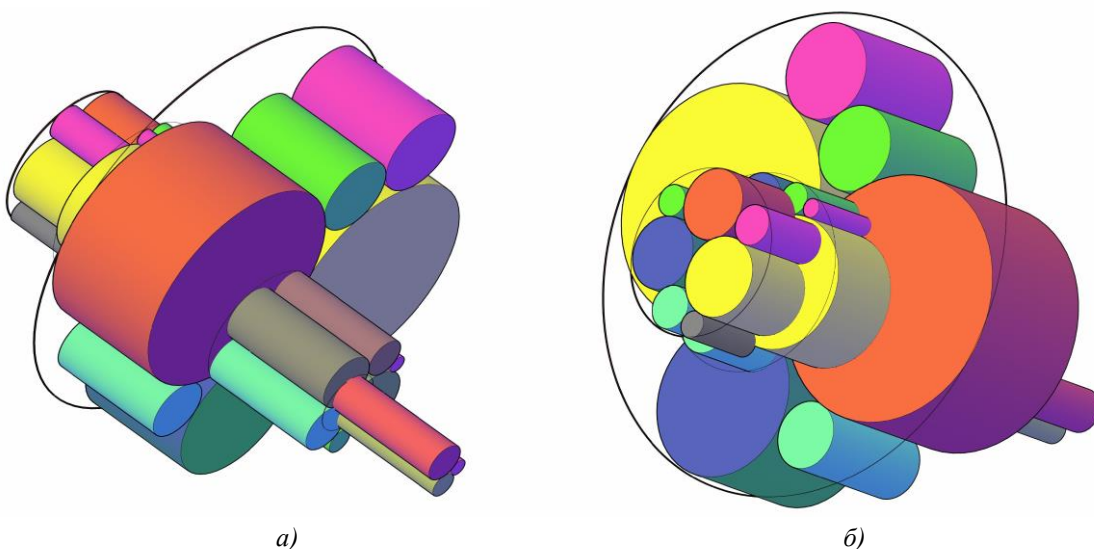


Рис.3. Отдельные дискретные этапы тушения пожара

Граничным условием является намеренное допущение, характеризующееся следующими условиями: площадь сечения совокупности решений первого этапа ($S_{сеч.1}$) равна сумме площадей сечений каждого из цилиндров (решений), входящих в этап (формула 1):

$$S_{сеч.общ.текущ.} = \sum_{k=1}^n S_{сеч.К-цилиндра.текущ.} \quad (1)$$

где, n – количество решений, принятых РТП на текущем этапе, k – порядковый номер решения, $S_{сеч.общ.текущ.}$ – диаметр сечения общий для текущего этапа, $S_{сеч.К-текущ.}$ – диаметр сечения отдельного цилиндра (решения), входящего в этап (или диаметр сечения общий для текущего этапа).

Поскольку в представленной модели идет четкое разделение процесса тушения пожара на этапы, предполагается (намеренное допущение автора), что в рамках этапа все принятые решения заканчивают свою реализацию, а при наступлении очередного этапа тушения, решения и процесс их реализации, которые по своей сути являются длящимися (то есть, переходящими в следующий этап тушения из предыдущего) – «переосмысливаются», принимаются

и применяются руководителем тушения пожара заново. Данный подход позволяет обеспечить рассмотрение каждого этапа как целостного объекта.

Следует отметить, что процесс тушения пожара от начала и до конца является событием с определенной протяженностью по времени, соответственно, момент принятия решения и его реализация является параметром, явно связанным со временем, затрачиваемым на принятие решения.

Графически каждое решение интерпретируется как объем отдельного цилиндра с высотой t_n , входящего в общий объем Фигуры (Рис.4).

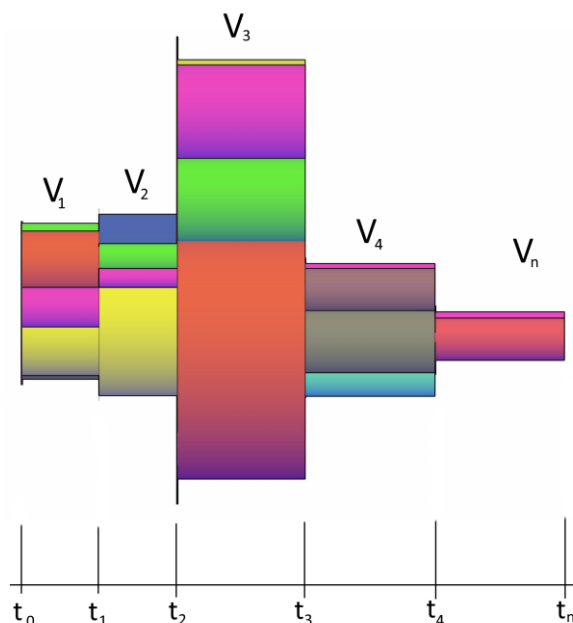


Рис.4. Разделение общего объема принятых решений на этапы по времени

Диаметр цилиндра, характеризующего N-й этап, можно выразить как (формула 2):

$$D_{N-этапа} = 2 \cdot \sqrt{\frac{S_{сеч.общ.N-этапа}}{\pi}} \quad (2)$$

Учитывая принятые допущения, площадь сечения любого этапа может быть представлена как указано в формуле 3:

$$S_{сеч.N-этапа} = \pi \cdot (r_{N-этапа}(t))^2 \quad (3)$$

где, $r_{N-этапа}(t)$ – радиус сечения N-го этапа в любой момент времени от начала до окончания этапа.

Соответственно, объем общего цилиндра N-ого этапа может быть выражен как указано в формуле 4:

$$V_{N-этапа} = \int_{t_{n-1}}^{t_n} S_{сеч.общ.N-этапа} \cdot t(dt) \quad (4)$$

Общий объем всей фигуры будет равен как указано в формуле 5:

$$V_{общ.} = \sum_{e=1}^n V_e \quad (5)$$

где, n – последний по счету этап тушения пожара.

Необходимо принимать во внимание, что, исходя из базового утверждения, общий объем фигуры должен стремиться к уменьшению. Данное условие выражается через формулу 6:

$$V_{\text{общ.}} = \sum_{e=1}^n V_e \rightarrow \min \quad (6)$$

Из формулы 6 следует, что уменьшение общего объема фигуры может быть достигнуто за счет уменьшения отдельных ее частей (меньших цилиндров, входящих в объем этапа, приводящее фактически к уменьшению общего объема этапа).

Площадь сечения этапа также может быть выражена формулой 7:

$$S_{\text{сеч.общ.}N\text{-этапа}} = \frac{\pi D_{N\text{-этапа}}^2}{4} \quad (7)$$

где, D – диаметр сечения этапа.

Диаметр сечения цилиндра, характеризующего отдельное решение в рамках N -го этапа тушения ($D_{\text{отд.реш.}N\text{-этапа}}$) может быть выражен через вводимый показатель – «адекватность решения» (A_k). В данном случае параметр

$D_{\text{отд.реш.}N\text{-этапа}}$ выражен как отношение 1 к произведению скорости принимаемого отдельного решения (или времени, затрачиваемого от начала этапа тушения, когда необходимость в принятии решения возникла и до момента фактического принятия решения) на адекватность решения, как меры, характеризующей релевантность решения (формула 8):

$$D_{\text{отд.реш.}N\text{-этапа}} = \frac{1}{(t_{\text{факт}} - t_{\text{нач.}N\text{-этапа}}) \cdot A_k} \quad (8)$$

где, $t_{\text{факт}}$ – фактическое время принятия решения относительно начала тушения пожара, A – адекватность принятого k -решения, $t_{\text{нач.}N\text{-этапа}}$ – время начала N -го этапа, $t_{\text{факт}}$ – фактическое время принятия решения.

При этом должно соблюдаться условие (формула 9):

$$t_0 < t_{\text{факт.}} < t_n \quad (9)$$

где, t_n – время тушения пожара (параметр отражен на Рис.4).

Показатель адекватности A_k определяет степень соответствия принимаемых решений в сложившейся ситуации, которая может быть представлена как совокупность ключевых факторов, определяющих ценность решения (формула 10).

$$A_k = F(D, C, I, R, V, M, W, K) \quad (10)$$

где, D и C – достоверность и полнота обрабатываемой информации;

I – ценность информации;

R – имеющийся ресурс сил и средств для выполнения решения;

V – реализуемость решения;

M – полнота учета факторов, определяющих содержание решения;

W – функционал, связывающий управляемые и неуправляемые характеристики модели и среды составляющей исход показателя.

$K_{\text{упр}}$ – комплексный показатель качества управления.

Однако, каждый из перечисленных показателей нуждается в формализации, что достаточно затруднительно в условиях ограниченного времени на пожаре. В связи с этим возникает необходимость упростить модель показателя адекватности, выразив его как указано в формуле 11:

$$A_k = S \cdot E_p \quad (11)$$

где, S – своевременность принятого решения (оценивается как «своевременно» и «несвоевременно»);

E_p – эффективность принятого решения (оценивается как «эффективно», «неэффективно»).

Формализация показателей упрощенной формулы требует глубоких исследований, но на начальном этапе классифицировать данные уровни можно следующим образом: «своевременно» и «эффективно» - 1, «несвоевременно» и «неэффективно» - бесконечно малый ненулевой показатель, чьим значением можно пренебречь.

Критерии адекватности с учетом обозначенных ранее условий может быть задан как $A_k \geq A_k^{TP}$ (или $A_k \rightarrow 1$), где A_k^{TP} – адекватность решений, требуемая в условиях пожаротушения в момент принятия решения.

Дополнительно следует отметить, что время тушения фактически не ограничено предельными значениями, однако, тяготеет к средним показателям по региону (к средним показателям времени тушения типового объекта по стране).

Зависимость выражена формулой 12:

$$t_n \leq t_{\text{ср.знач.показ.}} \quad (12)$$

В итоговом виде общий объем фигуры (или совокупный объем решений по тушению пожара по этапам) будет выглядеть как совокупность условий (формула 13):

$$\begin{cases} V_{\text{общ.}} = \sum_{e=1}^n V_e \\ t_n \leq t_{\text{ср.знач.показ.}} \\ D_e \rightarrow \min \end{cases} \quad (13)$$

где, e – номер этапа тушения пожара.

Ввиду активной цифровизации системы принятия решений и управления силами и средствами на пожаре, актуальность применения передовых достижений в области искусственного интеллекта является неоспоримой [7-9].

В рамках разработанной концепции отражения системы принятия решений при тушении пожара пассажирских железнодорожных подвижных составов, автором дополнительно проведена работа по оценке влияния нейросетевого программного обеспечения [10] и отражения этого влияния в виде графических зависимостей при принятии решений.

В соответствии с принятым подходом, совокупность решений по тушению пожара представляет из себя фигуру в виде «трубы» с переменным сечением, которая характеризует общий объем принимаемых решений, а также их результативность в графической интерпретации.

Логичным является, что система принятия решений с применением нейронной сети в виде программного обеспечения позитивно влияет на общий результат, уменьшая объем общей фигуры.

При применении нейронной сети (программного обеспечения в своей основе содержащую модели предварительно обученной нейронной сети) [10] в качестве результата программного обеспечения выводится либо какой-либо целевой показатель, на основе которого РТП принимает решение, либо предлагается конкретное решение (ряд решений) с учетом текущей обстановки и текущего сформированного объема данных по пожару, необходимого для работы программного обеспечения с нейросетями (далее – ПО, программа) (Рис.5).

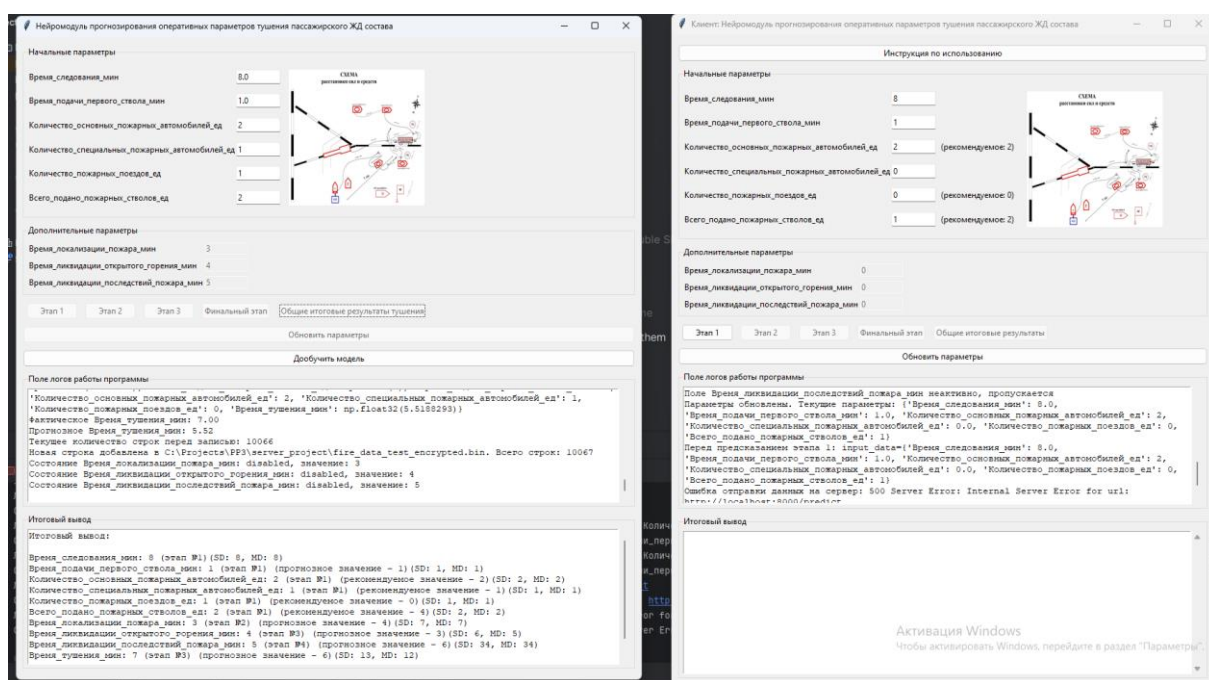


Рис.5. Нейро модуль прогнозирования оперативных параметров тушения ЖД состава

В случае, когда программой предлагается конкретное решение, то руководителю, принимающему решения, достаточно согласится с ним или отвергнуть, не используя представленные результаты. В случае согласия, эффект достигается за счет уменьшения диаметра цилиндра отдельного решения (ввиду более быстрого принятия в приемлемой мере адекватных решений, на основе предложенных программой).

При необходимости когнитивного анализа (то есть, умственного анализа и обработки данных) целевых показателей со стороны РТП, предсказываемых нейросетью в качестве результата, положительный эффект также будет достигнут за счет более взвешенного (иными словами, более результативного, чем без применения нейросети) решения, что также позитивно влияет на общий объем геометрической фигуры, характеризующей текущее решение.

В качестве универсального графического отражения эффектов независимо от механизма принятия решения РТП с использованием нейросети, предлагается выразить через «наслаивание» или «взаимное проникновение» элементов в системе принятия решений.

На Рис.6 представлена графическая интерпретация эффекта, выражающаяся в следующих элементах:

- «полнотелая шайба» - элемент зеленого цвета на рисунке, характеризующий степень воздействия применяемой нейронной сети на фигуру;
- «полнотелая цилиндр» – элемент желтого цвета, характеризующий эффект принимаемых решений в системе управления при тушении пожаров пассажирского железнодорожного подвижного состава.

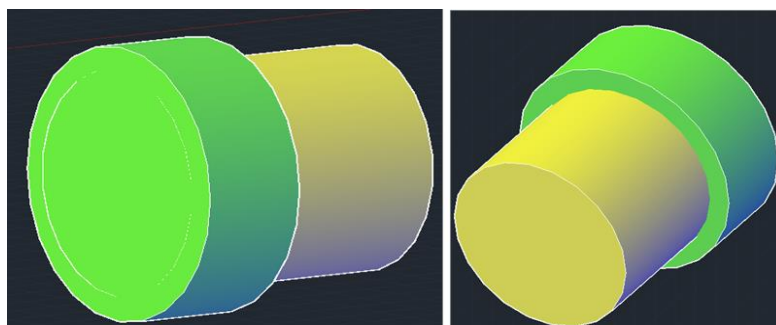


Рис.6. Графическое отображение «наслаивания» эффекта программы (шайба) на решений (цилиндр)

Следует отметить, что при интерпретации наложения элементов на Рис.6, подразумевается, что общий объем фигуры с переменным сечением будет уменьшаться на объем взаимного пересечения (отражен в виде шайбы красного цвета), указанного на Рис.6 и Рис.7.

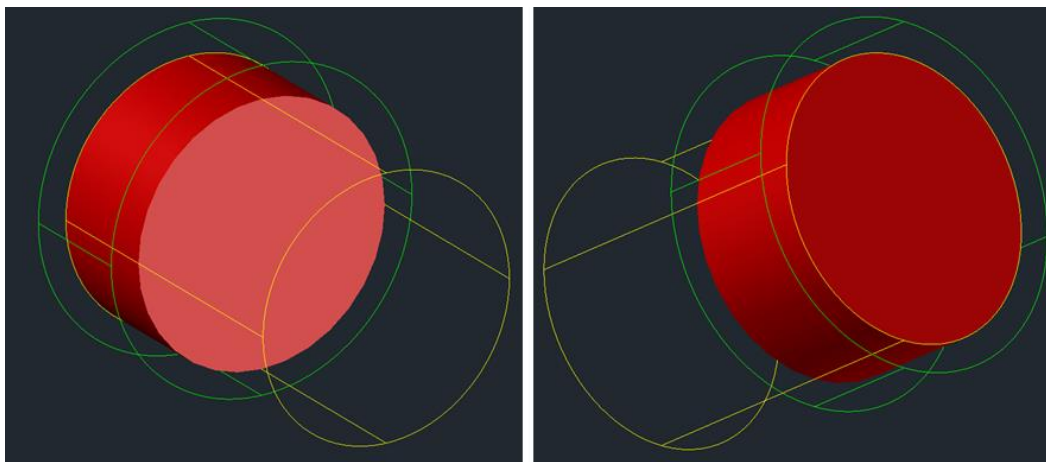


Рис.7. Внутренний объем пересечения элементов

Вместе с тем, также следует отметить, что применение нейронной сети в системе принятия решения не всегда может нести исключительно положительный эффект. Это связано не только с несовершенством предварительно обученных моделей (которые со временем корректируются и совершенствуются за счет механизма дообучения), а также, в той или иной степени, с недостатком объективных данных и с особенностями принятия решений в рамках индивидуальных когнитивных способностей каждого руководителя тушения пожара, применяющих программное обеспечение на основе нейросетей (такие как скорость осознания и формирования проблемы и ее предполагаемого решения, то есть времени на умственное восприятие проблемы, ее обработку и вывод; анализ предлагаемых нейросетью показателей; скорость принятия решения, то есть скорость от момента осознания проблемы до момента принятия решения для ее купирования и т.д.).

В качестве графического отражения негативного эффекта предлагается обозначить его через графический элемент «обод», то есть элемент, выходящий за пределы объема фигуры на текущем этапе тушения пожара (при этом «обод» также входит в конечном счете в общий объем фигуры).

Графически элемент «обод» представлен на Рис.8.

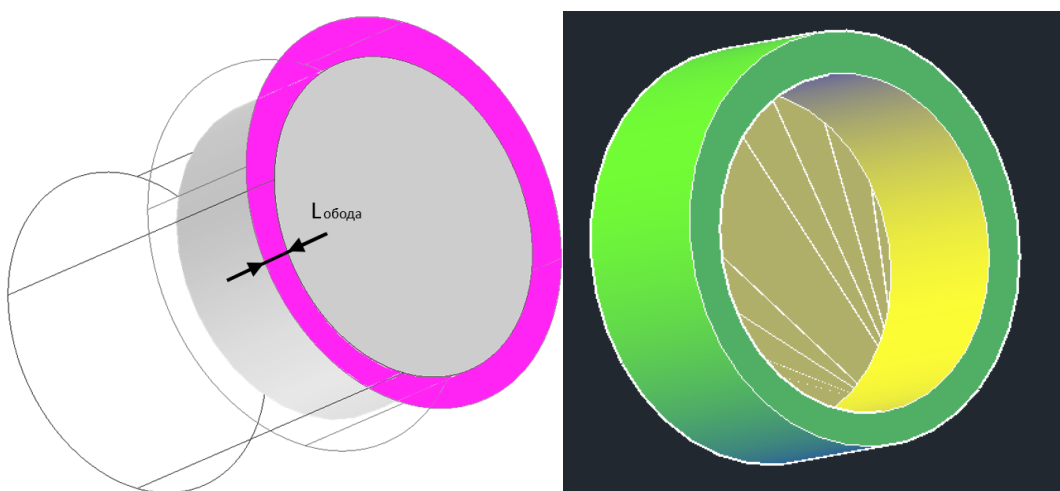


Рис.8. Графический элемент «обод», отражающий негативное влияние нейронной сети в общей системе принятия решений

Таким образом, учитывая обозначенные выше условия, модель объема фигуры, представленная в формуле 13 скорректирована следующим образом (формула 14):

$$V_{\text{общ.}} = \sum_{e=1}^n (V_e - V_{e.\text{пересеч.НС}} + V_{e.\text{обода.НС}}) \quad (14)$$

где, $V_{e.\text{пересеч.НС}}$ – объем взаимного пересечения фигур «полнотелая шайба» и «полнотелый цилиндр» на этапе тушения e , $V_{e.\text{обода.НС}}$ – объем элемента «обод» на этапе тушения e .

При этом также справедливо выражение (формула 15):

$$V_{e.\text{пересеч.НС}} + V_{e.\text{обода.НС}} = V_{e.\text{НС}} \quad (15)$$

где, $V_{e.\text{НС}}$ – объем участия нейросети в системе принятия решений руководителем тушения пассажирского подвижного железнодорожного состава на текущем этапе тушения e .

Таким образом, общая графическая модель системы принятия решений при тушении пассажирских железнодорожных подвижных составов будет иметь вид (формула 16):

$$\begin{cases} V_{\text{общ.}} = \sum_{e=1}^n (V_e - V_{e.\text{пересеч.НС}} + V_{e.\text{обода.НС}}) \\ t_n \leq t_{\text{ср.знач.показ.}} \\ D \rightarrow \min_e \end{cases} \quad (16)$$

Общий концептуальный графический вид такой системы представлен на Рис.9.

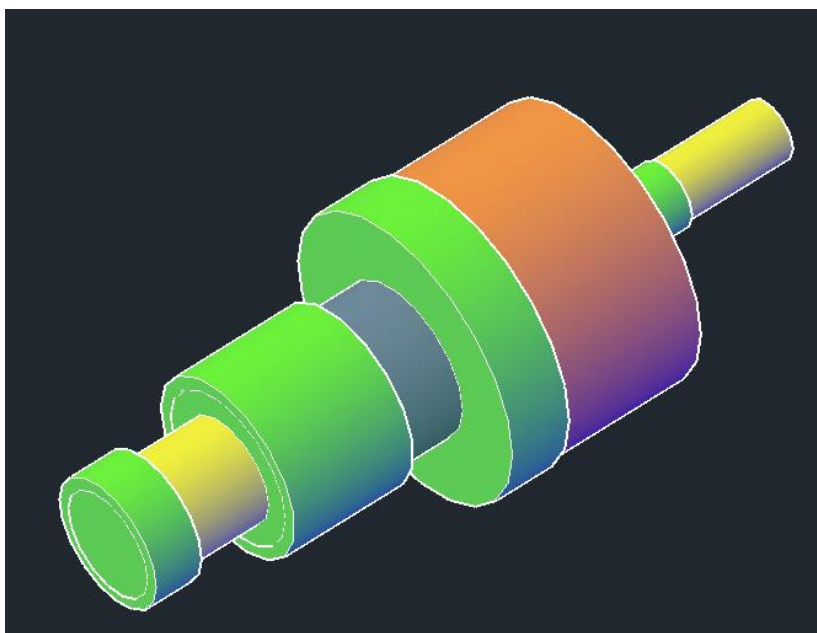


Рис.9. Общий концептуальный графический вид модели в общей системе принятия решений при тушении пассажирского подвижного железнодорожного состава с учетом применения нейронной сети

Список источников

1. Королев П.С., Данилов М.М., Денисов А.Н. Модель выбора альтернатив управления в организационной системе пожаротушения на основе GERT-сетей // Кибернетика, информатика, аналитика: модели, инструменты, методы: Сборник материалов III международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк, 25 апреля 2024 года. — Донецк: Донецкий государственный университет, 2024. — С. 98–102.
2. Беркин С.В., Кузовлев А.В. Совершенствование этапов боевых действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2018. — Т. 1, № 9. — С. 112–114.

3. Приказ МЧС России. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: Приказ МЧС России от 16.09.2024 № 777 // Гарант: сайт. — URL: <https://base.garant.ru>.
4. Денисов А.Н., Нгуен Т.Т. Модель и алгоритмы задачи идентификации ситуаций при ведении действий по тушению пожара // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – Вып. 2 (96). – С. 151–160. – DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.151-160.
5. Гущин Ю.В., Денисов А.Н. Моделирование управления пожаротушением на объектах энергетики // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы VII международной научно-практической конференции. В 2 ч. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. — С. 11–14.
6. Иванов А.А., Аникин С.Н. Обеспечение пожарной безопасности и организация тушения пожара на станции монорельса // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2023. – № 4. – С. 63–70. – DOI: 10.37882/2223-2966.2023.04.12.
7. Оревин Н.Н., Багажков И.В. Тактика тушения пожаров с использованием искусственного интеллекта // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов III Всероссийского круглого стола, Иваново, 28–29 марта 2024 года. — Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. — С. 192–196.
8. Аникин С.Н., Данилов М.М., Денисов А.Н. Потенциал применения нейронных сетей при организации привлечения техники к тушению пожаров в пассажирских поездах // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: сборник материалов Дней науки с международным участием, посвященных 90-летию Гражданской обороны России. В 2 ч. Часть 1, Екатеринбург, 30 мая – 3 июня 2022 г. / редкол: М.В. Елфимова, О.Ю. Демченко, О.В. Беззапонная и др. — Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2022. — С. 18–23.
9. Нейронная сеть для управления подразделениями по тушению пожаров в подвижном составе при разгрузке на металлургических предприятиях / А. Денисов, М. Данилов, И. Цокурова, С. Аникин // Международный научный Сибирский транспортный форум «ТрансСибирь — 2021», Новосибирск, 11–14 мая 2021 г. — Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2022. — С. 1595–1604. — DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_176.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025665191 Российская Федерация. Нейромодуль прогнозирования оперативных параметров тушения пассажирского железнодорожного состава: заявл. 29.05.2025; опубл. 11.06.2025 / С.Н. Аникин, М.М. Данилов, А.Н. Денисов. — М.: ФИПС, 2025. — URL: <https://new.fips.ru/>.

References

1. Korolev P.S., Danilov M.M., Denisov A.N. a model for choosing alternative management in an organizational fire extinguishing system based on GERT networks // Cybernetics, informatics, analytics: models, tools, methods: proceedings of the III International Scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists, Donetsk, April 25 In 2024. Donetsk: Donetsk State University, 2024, pp. 98-102.
2. Verkin S.V., Kuzovlev A.V. Improving the stages of combat operations to extinguish fires and conduct emergency rescue operations // Fire safety: problems and prospects. — 2018. - Vol. 1, No. 9. - pp. 112-114.
3. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia. On approval of the Combat Regulations of fire protection units, which defines the procedure for organizing fire extinguishing and emergency rescue operations: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 09/16/2024 No. 777 // Garant: website. — URL: <https://base.garant.ru>.
4. Denisov A.N., Nguyen T.T. Models and algorithms for the problem of identifying situations when conducting fire extinguishing operations // Technosphere safety technologies. – 2022. – Issue 2 (96). - pp. 151-160. – DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.151-160.
5. Gushchin Yu.V., Denisov A.N. modeling of fire extinguishing management at energy facilities // Firefighting: problems, technologies, innovations: proceedings of the VII International

Scientific and Practical Conference. At 2 a.m.: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2020, pp. 11-14.

6. Ivanov A.A., Remkin S.N. fire safety and fire extinguishing organization at the monorail station // Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences. - 2023. – No. 4. - pp. 63-70. – DOI: 10.37882/2223-2966.2023.04.12.

7. Orevin N.N., Baggage I.V. Tactics of extinguishing fires using artificial intelligence // Topical issues of firefighting: collection of materials of the III All-Russian Round table, Ivanovo, March 28-29, 2024. Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, 2024, pp. 192-196.

8. Dkin S.N., Danilov M.M., Denisov A.N. the potential of using neural networks in organizing the involvement of technology in extinguishing fires in passenger trains // Actual problems of safety in the Russian Federation: a collection of materials of the Science Day with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the Civil Defense of Russia. At 2 p.m., Yekaterinburg, May 30 – June 3, 2022 / editors: M.V. Elfimova, O.Y. Demchenko, O.V. bezzaponnaya, etc. Yekaterinburg: Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2022. - Pp. 18-23.

9. Neural network for managing fire extinguishing units in rolling stock during unloading at metallurgical enterprises / A.Denisov, M.Danilov, I.Tsokurova, S.dkin // International Scientific Siberian Transport Forum "Transsibir — 2021", Novosibirsk, May 11-14, 2021 — Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2022. - pp. 1595-1604. — DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_176.

10. Certificate of State registration of computer software No. 2025665191 Russian Federation. Neuromodule for predicting operational parameters of extinguishing passenger trains: application 05.29.2025; published 06.11.2025 / S.N.kin, M.M. Danilov, A.N. Denisov. - M.: FIPS, 2025. – URL: <https://new.fips.ru/>.

Статья поступила в редакцию 11.07.2025, одобрена после рецензирования 25.08.2025, принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 11.07.2025, approved after reviewing 25.08.2025, accepted for publication 01.09.2025.