Индекс устойчивости формы H* для транспортных сетей в задачах МЧС России

Аннотация

Предлагается интегральный индекс устойчивости формы H*, предназначенный для оценки структурной устойчивости транспортных сетей, используемых в задачах ликвидации чрезвычайных ситуаций. Транспортная сеть моделируется в виде взвешенного графа, в котором вершины соответствуют узлам инфраструктуры и объектам жизнеобеспечения, рёбра — транспортным связям, а веса рёбер отражают их «проводимость» для спецтехники. Индекс H* опирается на три нормированных показателя: алгебраическую связность графа, относительный размер крупнейшей связной компоненты и взвешенную структурную избыточность по отношению к эталонному нормальному состоянию. Эти показатели объединяются в когерентность формы, которая сопоставляется со сглаженной мерой структурного повреждения сети. Вводится нормированный индекс H_norm, позволяющий интерпретировать состояние сети по шкале «нормальный, напряжённый, критический режим». Описаны математические свойства индекса и приведены примеры использования в задачах планирования подъезда сил и средств, организации эвакуации и логистики при чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: транспортная сеть, устойчивость, индекс H*, нормированный индекс H_norm, алгебраическая связность, структурная избыточность, спасательные операции, МЧС России.

1. Введение

Подразделения, отвечающие за ликвидацию чрезвычайных ситуаций, в том числе МЧС России, в значительной степени зависят от состояния транспортной сети. От конфигурации и текущей «живучести» инфраструктуры зависят:

– время подъезда пожарно-спасательных подразделений и другой спецтехники к месту происшествия;
– возможность организованной эвакуации населения из опасных зон;
– устойчивость снабжения объектов жизнеобеспечения (больницы, склады, пункты временного размещения пострадавших);
– возможность оперативной переброски сил между районами.

Даже формально связная сеть может оказаться неудовлетворительной с точки зрения задач спасения, если:

– разрушены или перекрыты ключевые мосты, путепроводы, тоннели;
– перегружены узлы вблизи очага ЧС;
– исчезли или сильно ухудшились резервные маршруты подъезда и эвакуации.

Существующие подходы к анализу транспортной сети часто либо опираются на локальные характеристики отдельных участков (пропускная способность, среднее время проезда), либо используют отдельные топологические метрики графа (степени вершин, радиус, диаметр, количество кратчайших путей и т.п.). При этом:

– не задаётся явная связь с эталонным «нормальным» состоянием сети;
– нет единого интегрального показателя, учитывающего одновременно связность, фрагментацию и наличие резервов;
– отсутствует простая, однозначно трактуемая шкала, по которой можно было бы оценивать «запас прочности» сети в текущий момент.

Цель работы — построить интегральный индекс устойчивости формы H* для взвешенной транспортной сети, который:

1. строго определён в рамках модели взвешенного графа;

2. чувствителен к тем типам деградации, которые значимы для задач МЧС;

3. допускает нормировку относительно эталонного состояния и интерпретацию в виде трёх уровней: нормальный, напряжённый, критический.

В работе последовательно вводятся: математическая модель сети, исходные показатели, конструкция самого индекса H*, его нормированная версия H_norm, формулируются ключевые свойства и показывается, как этот индекс может применяться в прикладных сценариях.

---

2. Модель транспортной сети

2.1. Эталонное и текущее состояние

Рассматривается транспортная сеть, заданная в виде взвешенного графа
G = (V, E, w), где

– V — множество вершин (узлы транспортной сети, перекрёстки, транспортно-пересадочные узлы, въезды и выезды, а также объекты жизнеобеспечения: больницы, склады, пункты временного размещения);
– E — множество рёбер (участки улично-дорожной сети, мосты, тоннели, эстакады, перегоны рельсового транспорта и другие связи, по которым может двигаться техника);
– w: E → (0, +∞) — функция веса, назначающая каждому ребру положительное число, характеризующее его «проводимость» для сил и средств (например, с учётом пропускной способности, ожидаемого времени проезда, допустимости движения спецтехники и т.п.).

Эталонное (нормальное) состояние сети задаётся графом $G_0 = (V_0, E_0, w_0)$. Оно отражает либо типичную ситуацию без крупных чрезвычайных ситуаций и длительных ремонтов, либо проектно-нормативное состояние сети.

Текущее состояние описывается графом G = (V, E, w), построенным по оперативным данным (перекрытия, ограничения, разрушения, временные схемы движения и т.п.).

В рамках настоящей работы предполагается, что текущее состояние сети получается из эталонного путём удаления рёбер и (при необходимости) вершин, а также уменьшения весов рёбер. Соответственно, выполняются включения
$V \subseteq V_0$, $E \subseteq E_0$. Это допущение обеспечивает корректность всех вводимых далее нормировок и сопоставимость показателей для G и G_0.

Все вводимые далее показатели рассматриваются для G по отношению к эталону G_0.

2.2. Базовые матрицы

Для графа G определяется:

– матрица весов W размерности |V|×|V|, элементы которой равны весам рёбер между вершинами (или нулю при отсутствии ребра);
– диагональная матрица степеней D, диагональный элемент D(i, i) равен сумме весов

всех рёбер, инцидентных вершине i;
– матрица Лапласа $L = D - W$;
– нормированный лапласиан $L_{norm} = I - D^{-1/2} W D^{-1/2}$, где I — единичная матрица.

Спектральные свойства матрицы L_{norm} используются при определении алгебраической связности.

3. Исходные показатели

Индекс H* опирается на три нормированных показателя, каждый из которых отражает важный аспект структуры сети.

3.1. Нормированная алгебраическая связность

Алгебраическая связность $\lambda_2(G)$ определяется как второе по величине (по возрастанию) собственное значение нормированного лапласиана $L_{norm}(G)$. Собственные значения матрицы $L_{norm}(G)$ упорядочиваются так:

$0 = \lambda_1 \le \lambda_2 \le \ldots \le \lambda_{|V|}$.

Малые значения $\lambda_2(G)$ указывают на слабую глобальную связность: при распаде графа на несколько компонент $\lambda_2(G)$ стремится к нулю. Для хорошо связных структур $\lambda_2(G)$ заметно отстоит от нуля.

Для эталонного графа G_0 сначала вычисляется его алгебраическая связность $\lambda_2(G_0)$. На её основе задаётся масштабный параметр

$\Delta_0 = \max(\lambda_2(G_0), \varepsilon_{deg})$,

где $\varepsilon_{deg} > 0$ — малый стабилизатор, исключающий вырожденные случаи (например, если $\lambda_2(G_0)$ очень мало).

Нормированная алгебраическая связность $\lambda_{norm}(G)$ определяется по формуле

$\lambda_{norm}(G) = \min(1 , \max(0 , \lambda_2(G) / \Delta_0))$.

Таким образом, $\lambda_{norm}(G)$ всегда лежит в диапазоне от 0 до 1. При распаде сети на несколько компонент $\lambda_2(G)$ уменьшается, и $\lambda_{norm}(G)$ стремится к 0. Для хорошо связной сети, сопоставимой с эталоном, $\lambda_2(G)$ близка к $\lambda_2(G_0)$, и $\lambda_{norm}(G)$ близка к 1. Чем меньше $\lambda_{norm}(G)$, тем более уязвима сеть к «разрезанию» на компоненты и тем ниже её структурная устойчивость.

3.2. Относительный размер крупнейшей компоненты

Пусть $C_{max}(G)$ — крупнейшая по числу вершин связная компонента графа G. Относительный размер главной компоненты определяется как

$S_{norm}(G) = |C_{max}(G)| / \max(1, |V_0|)$.

То есть берётся отношение числа вершин в крупнейшей компоненте текущей сети к числу вершин в эталонном графе G_0 (при этом делитель снизу не меньше 1).

При сохранении единого связного «каркаса» сети величина $S_{norm}(G)$ близка к 1. При распаде сети на несколько крупных фрагментов часть узлов выпадает из крупнейшей компоненты, и $S_{norm}(G)$ уменьшается. Для задач МЧС это означает, что отдельные районы и объекты могут оказаться фактически изолированными, даже если локальные связи внутри отдельных фрагментов формально сохраняются.

3.3. Взвешенная структурная избыточность

Структурная избыточность отражает наличие резервных путей вокруг узлов сети. Для каждой вершины v из множества V_0 рассматриваются:

взвешенная степень в эталоне:
$deg_0(v)$ — сумма весов всех рёбер из E_0, инцидентных v;

взвешенная степень в текущей сети:
deg(v) — сумма весов всех рёбер из E, инцидентных v.
Если вершина v отсутствует в текущем множестве V, то по определению полагается deg(v) = 0.

Локальная сохранность окружения вершины v задаётся по следующим правилам.

1. Если $deg_0(v)$ больше порогового значения ε_deg, то есть вокруг вершины в эталоне действительно есть ненулевая инфраструктура, то

$I(v) = \min(deg(v), deg_0(v)) / deg_0(v)$.

В этом случае I(v) показывает, какая доля эталонного суммарного веса связей вокруг вершины сохранилась в текущей сети (при этом «лишний» вес сверх эталонного не увеличивает показатель выше 1).

2. Если $deg_0(v)$ меньше либо равна ε_deg и вершина v присутствует в текущем графе G, то есть в эталоне вокруг неё почти не было связей, но сейчас она существует в сети, то

I(v) = 1.0.

Это означает, что для вершин с пренебрежимо малой эталонной степенью само их присутствие в текущей сети считается достаточным признаком сохранности.

3. Если вершина v принадлежит множеству V_0, но отсутствует в текущем графе G (удалена или недоступна), то

I(v) = 0.0.

Взвешенная структурная избыточность сети R_w(G) определяется как среднее значение I(v) по всем вершинам эталонного графа:

$R\_w(G) = (1 / \max(1, |V_0|))$ · сумма I(v) по всем v из V_0.

Высокие значения R_w(G) означают, что для большинства узлов сохранились резервные варианты подъезда и выезда; низкие значения указывают на массовую потерю резервов и чувствительность сети к дополнительным нарушениям.

---

4. Когерентность формы и структурное повреждение

4.1. Когерентность формы Coh*(G)

Три описанных показателя — λ_norm(G), S_norm(G) и R_w(G) — отражают разные стороны структуры сети:

– глобальную связность;
– сохранность единого «каркаса»;
– наличие локальных резервов.

Для интегральной оценки вводится когерентность формы Coh*(G). Она определяется как геометрическое среднее этих показателей с малым стабилизатором ε:

Coh*(G) = (max(ε, λ_norm(G)) * max(ε, S_norm(G)) * max(ε, R_w(G)))^(1/3).

Если все три исходных показателя близки к 1, когерентность формы также близка к 1. Если хотя бы один из них резко падает, Coh*(G) заметно уменьшается, что соответствует ухудшению «качества формы» сети.

4.2. Сглаженная мера структурного повреждения σ_smooth*(G)

Для того чтобы учитывать различные типы деградации сети, сначала вводятся суммарные веса рёбер:

W(G) — суммарный вес всех рёбер текущего графа G (сумма w(e) по всем рёбрам e из множества E);

W_0 — суммарный вес рёбер в эталонном графе G_0 (сумма $w_0(e)$ по всем e из множества E_0).

На их основе задаются четыре неотрицательные компоненты структурного повреждения:

$a_1(G)$ — относительная потеря суммарного веса сети по сравнению с эталоном:

$a_1(G)$ = max(0, (W_0 − W(G)) / max(ε_w, W_0));

$a_2(G)$ — падение нормированной алгебраической связности:

$a_2(G)$ = max(0, 1 − λ_norm(G));

$a_3(G)$ — уменьшение относительного размера крупнейшей компоненты:

$a_3(G)$ = max(0, 1 − S_norm(G));

$a_4(G)$ — снижение структурной избыточности:

$a_4(G)$ = max(0, 1 − R_w(G)).

Здесь ε_w > 0 — малый стабилизатор, предотвращающий деление на нуль в случае очень маленького W_0. По построению все компоненты $a_1(G)$, $a_2(G)$, $a_3(G)$ и $a_4(G)$ лежат в диапазоне от 0 до 1: значение 0 означает отсутствие соответствующего типа повреждения, значения, близкие к 1, — его максимальное проявление.

Сглаженная мера структурного повреждения $\sigma\_smooth^*(G)$ определяется как сглаженный максимум этих четырёх величин. Для этого используется логарифм суммы экспонент:

$$\sigma\_smooth^*(G) = \tau \cdot \ln((\exp(a1(G)/\tau) + \exp(a2(G)/\tau) + \exp(a3(G)/\tau) + \exp(a4(G)/\tau)) / 4).$$

где $\tau > 0$ — параметр сглаживания.

При малых значениях τ функция $\sigma\_smooth^*(G)$ приближается к обычному максимуму $\max a_i(G)$, а при больших значениях τ — к более сглаженному среднему. В любом случае выполняются следующие свойства:

$\sigma\_smooth^*(G)$ не уменьшается при росте любой из компонент $a_i(G)$;

$\sigma\_smooth^*(G) = 0$ для идеального состояния без деградации (если $a_i(G) = 0$ для всех i);

при малых повреждениях, когда все $a_i(G)$ малы, $\sigma\_smooth^*(G)$ также остаётся малой;

малые изменения $a_i(G)$ приводят к малым изменениям $\sigma\_smooth^*(G)$, что обеспечивает её численную устойчивость при практических вычислениях.

---

5. Определение индексов H* и H_norm

Для объединения когерентности формы и меры структурного повреждения вводится основной стабилизатор ε_main, зависящий от размера сети. Его удобно задать как

$$\varepsilon\_main = 1 / \max(1, |V_0|^2),$$

чтобы исключить деление на слишком малые числа и ограничить рост индекса при очень малых повреждениях.

Индекс устойчивости формы H*(G) определяется формулой:

$$H^*(G) = Coh^*(G) / \max(\varepsilon\_main, \sigma\_smooth^*(G)).$$

Если сеть близка к эталону, когерентность формы высока, а структурное повреждение мало, индекс H*(G) принимает относительно большие значения. При сильной деградации структуры Coh*(G) уменьшается, $\sigma\_smooth^*(G)$ возрастает, и H*(G) снижается.

Для сопоставления различных сетей и сценариев вводится нормированный индекс:

$$H\_norm(G) = H^*(G) / \max(\varepsilon\_main, H^*(G_0)).$$

Эталонному состоянию G_0 соответствует значение $H\_norm(G_0)$, близкое к 1. При ухудшении состояния сети H_norm(G) убывает и может принимать малые значения.

В практической трактовке для задач МЧС предлагается следующая шкала:

– $H\_norm(G) \geq 0{,}8$ — нормальный режим: сеть по структуре близка к эталону, подъезд и эвакуация в целом обеспечены с запасом резервов;
– $0{,}5 \leq H\_norm(G) < 0{,}8$ — напряжённый режим: сеть сохраняет связность, но резервы сокращены, маршруты становятся более чувствительными к дополнительным ограничениям;
– $H\_norm(G) < 0{,}5$ — критический режим: высок риск потери доступа к отдельным районам, требуется изменение схем движения, переброска сил, открытие временных маршрутов.

Конкретные численные пороги могут уточняться и калиброваться по историческим данным о реальных чрезвычайных ситуациях и по особенностям конкретного города или региона.

6. Свойства индекса

Конструкция индекса H* и нормированного варианта H_norm обеспечивает ряд важных свойств.

Ограниченность. Все исходные показатели λ_norm(G), S_norm(G) и R_w(G) по определению лежат в диапазоне от 0 до 1. Когерентность формы Coh*(G), вычисляемая как геометрическое среднее этих величин (с учётом стабилизатора ε), также принимает значения в этом диапазоне: при хорошей структуре сети Coh*(G) близка к 1, при сильной деградации стремится к 0. Компоненты структурного повреждения $a_i(G)$, i = 1,…,4, по построению лежат в [0; 1], а сглаженная мера σ_smooth*(G), заданная через логарифм суммы экспонент, всегда неотрицательна: σ_smooth*(G) = 0 при отсутствии повреждений и возрастает при увеличении любых $a_i(G)$. При умеренных повреждениях, когда все $a_i(G)$ далеки от 1, σ_smooth*(G) остаётся малой. Нормировка по $H^*(G_0)$ и наличие стабилизатора ε_main в знаменателях ограничивают рост H*(G) и H_norm(G) и обеспечивают корректную масштабировку индекса. Значения H_norm(G), превышающие 1, допускаются и интерпретируются как состояния, в которых структура сети по рассматриваемым критериям лучше эталонной (например, после модернизации или усиления резервов).

Монотонность по деградации. Рассмотрим переход от графа G к графу G', в котором некоторые рёбра удалены или их веса уменьшены, при неизменном эталоне G_0. Для таких преобразований выполняется:

относительный размер крупнейшей компоненты S_norm(G') не больше S_norm(G);

взвешенная структурная избыточность R_w(G') не больше R_w(G);

нормированная алгебраическая связность λ_norm(G') не больше λ_norm(G);

суммарный вес сети W(G') не больше W(G), поэтому $a_1(G')$ не меньше $a_1(G)$;

показатели $a_2(G')$, $a_3(G')$ и $a_4(G')$ также не меньше соответствующих $a_2(G)$, $a_3(G)$ и $a_4(G)$.

Иными словами, при деградации сети когерентность формы Coh*(G') не превосходит Coh*(G), а сглаженная мера структурного повреждения σ_smooth*(G') не меньше σ_smooth*(G). Следовательно, индекс устойчивости формы удовлетворяет неравенству

$H^*(G') \leq H^*(G)$,

а при фиксированном $H^*(G_0)$ нормированный индекс $H\_norm(G') \leq H\_norm(G)$. То есть упрощение или деградация сети не приводит к росту индексов H* и H_norm.

Инвариантность к однородному масштабированию весов. Если все веса рёбер и в текущем графе G, и в эталоне G_0 умножить на один и тот же положительный коэффициент, то:

нормированный лапласиан и его спектральные характеристики не изменяются, поэтому λ_norm(G) и λ_norm(G_0) сохраняются;

взвешенные степени вершин и локальные показатели I(v) масштабируются одинаково и, с учётом используемых нормировок, не изменяют значения R_w(G);

суммарные веса W(G) и W_0 масштабируются одинаково, …поэтому относительная потеря (W_0 − W(G)) / max(ε_w, W_0) и компонента a_1(G) остаются прежними.

В результате исходные показатели λ_norm(G), S_norm(G), R_w(G), компоненты a_i(G), когерентность Coh*(G) и сглаженная мера σ_smooth*(G) не меняются. Следовательно, H*(G) и H_norm(G) не зависят от однородного масштабирования весов. Это удобно, если веса изначально задаются в разных единицах измерения и затем приводятся к общему масштабу.

Устойчивость к малым возмущениям. Малые изменения весов рёбер вызывают малые изменения в матрицах W и D, а значит, приводят к плавным изменениям спектральных характеристик и степеней вершин. В результате показатели λ_norm(G), S_norm(G) и R_w(G), а также компоненты a_i(G) и производные от них величины Coh*(G), σ_smooth*(G) и H_norm(G) изменяются без резких скачков. Это особенно важно для работы в режиме мониторинга, когда система должна быть устойчива к шуму в данных, единичным ошибкам и аномальным измерениям.

7. Примеры применения в задачах МЧС

7.1. Сравнение базовых топологий

Рассмотрим три абстрактные сети с одинаковым числом узлов:

1. Полностью связная сеть, в которой между любой парой узлов существует прямое ребро.

2. Кольцевая структура, где каждый узел соединён ровно с двумя соседями.

3. Линейная цепочка, в которой узлы соединены в одну линию.

Пусть эталоном выступает полностью связная сеть. При одинаковой «массе» рёбер (схожей суммарной пропускной способности) качественное поведение индекса H_norm таково:

– для полностью связной сети нормированные показатели λ_norm, S_norm и R_w близки к 1, а H_norm около 1;
– для кольца λ_norm и R_w принимают промежуточные значения, H_norm существенно меньше 1, что отражает меньший запас устойчивости;
– для линейной цепочки λ_norm и R_w низкие, сеть легко разделить на две части, H_norm принимает значения, близкие к нижней части шкалы.

Таким образом, индекс H_norm корректно ранжирует сети по устойчивости даже при одинаковом числе узлов и сопоставимом суммарном «весе», отражая разницу в топологии и запасе резервов.

7.2. Сеть крупного города с ключевым мостом

Рассмотрим упрощённую модель городской транспортной сети, в которой:

– несколько районов расположены по разным берегам крупной реки;
– один мост служит основным коридором для движения спецтехники;
– существуют два альтернативных маршрута-объезда меньшей пропускной способности;
– отдельные узлы соответствуют пожарным депо, больницам, складам, пунктам временного размещения.

В эталонном состоянии G_0 мост и оба объезда доступны. Показатели λ_norm, S_norm и R_w высоки, индекс H_norm близок к 1, что соответствует нормальному режиму.

Рассмотрим три состояния:

1. Плановый ремонт моста.
Мост временно закрыт, движение осуществляется по двум объездным маршрутам. Общая «масса» сети и глобальная связность уменьшаются, часть резервов теряется. Нормированный индекс H_norm снижается, но остаётся, как правило, в диапазоне напряжённого режима. Для МЧС это означает, что подъезд и эвакуация возможны, но устойчивость схем движения хуже, чем в эталоне.

2. Чрезвычайная ситуация с одновременным закрытием моста и частичной блокировкой одного из объездов.
Часть районов оказывается доступной только по одному маршруту с ограниченной пропускной способностью. В этом случае падают и λ_norm, и S_norm, и R_w, а компоненты структурного повреждения достигают больших значений. Индекс H_norm может опускаться ниже порога критического режима. Для ситуационного центра это сигнал к немедленной корректировке маршрутов, перераспределению сил и организации временных переправ.

3. Частичное восстановление инфраструктуры.
После восстановления одного из коридоров или временного открытия дополнительного маршрута показатели структуры улучшаются, H_norm поднимается в диапазон напряжённого режима. Это позволяет объективно фиксировать эффект от оперативных мероприятий.

Такие сценарии показывают, что индекс H_norm может использоваться как агрегированный индикатор «здоровья» транспортной сети в привязке к задачам МЧС.

8. Заключение

В работе предложен интегральный индекс устойчивости формы H* для взвешенных транспортных сетей и нормированный индекс H_norm, ориентированные на использование в задачах ликвидации чрезвычайных ситуаций и планирования спасательных операций.

Особенности разработанного подхода:

– опора на строгую модель сети как взвешенного графа и использование спектральных характеристик;
– учёт трёх ключевых аспектов: глобальной связности, целостности (наличия единого «каркаса») и структурной избыточности (наличия резервов);
– введение сглаженной меры структурного повреждения, объединяющей несколько типов деградации сети;
– наличие важных математических свойств: ограниченность, монотонность при

деградации, инвариантность к масштабированию, устойчивость к малым изменениям.

Нормированный индекс H_norm удобен для практической работы: он сводит сложное состояние сети к одной числовой характеристике, которая может отображаться на панели мониторинга и использоваться для выработки решений. В частности, индекс подходит для:

– интеграции транспортного слоя в цифровые двойники городов и регионов;
– работы в ситуационных центрах как индикатор структурной устойчивости транспортной сети;
– сценарного анализа последствий перекрытия участков, разрушения мостов и других нарушений;
– поддержки решений по расстановке сил, организации эвакуации и логистики гуманитарной помощи.

Дальнейшее развитие работы связано с внедрением алгоритмов расчёта индекса H_norm на реальных транспортных сетях крупных городов, калибровкой пороговых значений по историческим данным о ЧС, а также обобщением подхода на другие виды инфраструктурных сетей — энергетические, водоснабжающие, информационные — для комплексной оценки устойчивости городской среды.

9. Список литературы

(оформить по требованиям конкурса)

1. Bollobás B. Modern Graph Theory. Springer, 1998.

2. Chung F. Spectral Graph Theory. American Mathematical Society, 1997.

3. Biggs N. Algebraic Graph Theory. Cambridge University Press, 1993.

4. Cvetković D., Rowlinson P., Simić S. An Introduction to the Theory of Graph Spectra. Cambridge University Press, 2010.

5. Chen A., Yang H., Lo H.K. Capacity reliability of transportation networks. Transportation Research Part B, 2002.

6. Jenelius E., Petersen T., Mattsson L.-G. Importance and exposure in road network vulnerability analysis. Transportation Research Part A, 2006.

7. Levinson D. et al. Network reliability in practice. Springer, 2012.

8. Публикации по моделированию транспортной инфраструктуры и анализу уязвимости транспортных сетей (конкретные источники можно вставить в соответствии с тематикой).

9. Нормативно-методические документы МЧС России, регламентирующие использование транспортной инфраструктуры при ликвидации ЧС.

10. Рыбаков П.И. Индекс устойчивости формы H* для транспортных сетей: препринт автора, 2025 г.

Для полной версии работы, включая подробное математическое обоснование, доказательства свойств индекса H* и расширенные примеры, можно ознакомиться по ссылке DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17688820.

Идентификаторы:
• https://doi.org/10.5281/zenodo.17688820
• ORCID: 0009-0001-7921-9499

Контакты:
• Email: pavel_rabota1996@mail.ru
• VK: vk.com/id1059469430