

*Е. Е. Мизгирева***ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ В КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЯХ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА**

Аннотация. В условиях динамичных экономических и геополитических изменений важно предусмотреть механизмы адаптации, позволяющие быстро модифицировать узловые транспортно-технологические процессы работы в соответствии с актуальными требованиями и обстоятельствами. Предварительная и последующая программная оценка параметров узлового инфраструктурно-технологического взаимодействия на всех этапах компоновочных решений позволяет делать выводы о принципах формирования зон и объектов, соответствии видов транспорта и пунктов узлового взаимодействия, а также местах их размещения. Для этих целей проведен сравнительный анализ показателей зон узла в зависимости от степени их воздействия на структуру узла согласно критериям теории принятия решений, методам кластерного анализа, позволяющим оценивать объекты внутри одной зоны (кластера) и выявлять скрытые структуры в наборе данных, определять группы объектов, их схожесть и различия. Разработан программный комплекс выбора рациональных параметров объектов в компоновочных решениях транспортного узла согласно авторской модификации традиционного генетического алгоритма (ГА) в генетический компоновочный алгоритм транспортного узла (ГКА ТУ), учитывающий случайный выбор, нечеткие множества параметров, комбинаторику и вариацию массивов больших данных с использованием аналогий естественного отбора.

Ключевые слова: транспортный узел, узловые зоны, компоновочные решения, кластерный анализ, коэффициент дивергенции, теория принятия решений, генетический компоновочный алгоритм, параметры эффективности размещения, программный комплекс.

Для цитирования: Мизгирева, Е. Е. Программный комплекс выбора рациональных параметров объектов инфраструктуры в компоновочных решениях транспортного узла / Е. Е. Мизгирева // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 2. – С. 208–218. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_208.

Введение

В условиях экономической неустойчивости, санкционных воздействий и политических осложнений меняются номенклатура грузов и транспортно-логистические цепочки, что приводит к нечеткости принципов параметризации узловых транспортно-технологических процессов. Это требует разработки гибких методов компоновки узлов, способных учитывать сложноформализуемые факторы и адаптироваться к рыночным изменениям, минимизируя риски неопределенности. Для оптимизации проектирования и работы транспортных узлов важна интеграция программных средств и анализа больших данных. Также необходимы механизмы быстрой адаптации и новые схемы взаимодействия участников транспортных процессов для повышения эффективности и устойчивости всей узловой системы.

Основная часть

Следует отметить, что для узловой системы управления присуща полиструктурность [1]. Полиструктурность производственно-хозяйственных организаций означает наличие производственной, социальной и технологической структур, а также структуры управления. Применительно к транспортным узлам выделяются селитебная, производственно-заводская, транспортно-складская, защитная и рекреационная зоны, а их совокупность рассматривается как единая организационная структура (табл. 1).

Предварительная перспективная параметризация узлового инфраструктурно-технологического взаимодействия позволяет делать выводы о принципах формирования зон, соответствии видов транспорта и пунктов узлового взаимодействия (аэропорт, порт, вокзал, грузовой терминал и т. п.), а также мест их размещения. Разработка подходов к компоновочным решениям в связи с изменением классификационных признаков узлов и использованием инновационных видов транспорта должна производиться на начальной стадии планирования и проектирования с учетом передовых научных и технологических решений [3].

Таблица 1

Принципы блочно-модульных компоновочных решений узла [2]

Тип зоны	Теоретические основы компоновки территории	Планировочные (географические) требования	Технологические требования
СЗ (селитебная)	Базируется на правильных сетях, статистическом анализе данных о росте и размещении населения (экономико-географический метод, теория графов, сетевые модели и др.)	Размещение от железной дороги или автодороги не менее 200 м, по наветренной стороне по отношению к ПЗЗ; используются прямоугольные и радиальные системы планировки	Согласно правилам и нормам проектирования
ПЗЗ (промышленно-заводская)	Определяется технологией производства и градостроительными правилами (технологические модели, схемы производственных потоков, планировка цехов и т. п.)	Предварительный анализ взаимного расположения с зонами ТСЗ, ЗЗ, СЗ; устраиваются несколько КПП, располагаются в пределах 1,5 км; принцип совместного использования существующих сооружений и устройств	Разделение потоков работников и заводского транспорта, обеспечение доступности рабочих мест
ТСЗ (транспортно-складская)	Базируется на правильных сетях, статистическом анализе данных, прогнозных моделях транзитных и местных грузовых перевозок (теория графов, сетевые модели, задача коммивояжера, транспортная задача в закрытой и открытой формах и др.)	Оценка топографических, естественно-географических и др. условий; блочно-модульный принцип планировки	Последовательность и непрерывность процессов
ЗЗ (защитная)	Определяется градостроительными нормами, «розой» ветров (географические, санитарные, экологические, погодные условия и др.)	Ширина определяется классом вредности: I класс – 1000 м, II класс – 500 м, III класс – 300 м, IV класс – 100 м, V класс – 50 м	Максимальное снижение вредного воздействия предприятий и производств на окружающую среду
РЗ (рекреационная)	Определяется географическими, природно-ландшафтными условиями, экологическими, градостроительными правилами и нормами	Использование уникальных природно-климатических и ландшафтных характеристик территории	Соблюдение требований доступности для населения, охраны окружающей среды

Предлагается следующая стратегия вариантов компоновочных решений узловых объектов с учетом принципа блочно-модульного зонирования территории (рис. 1).

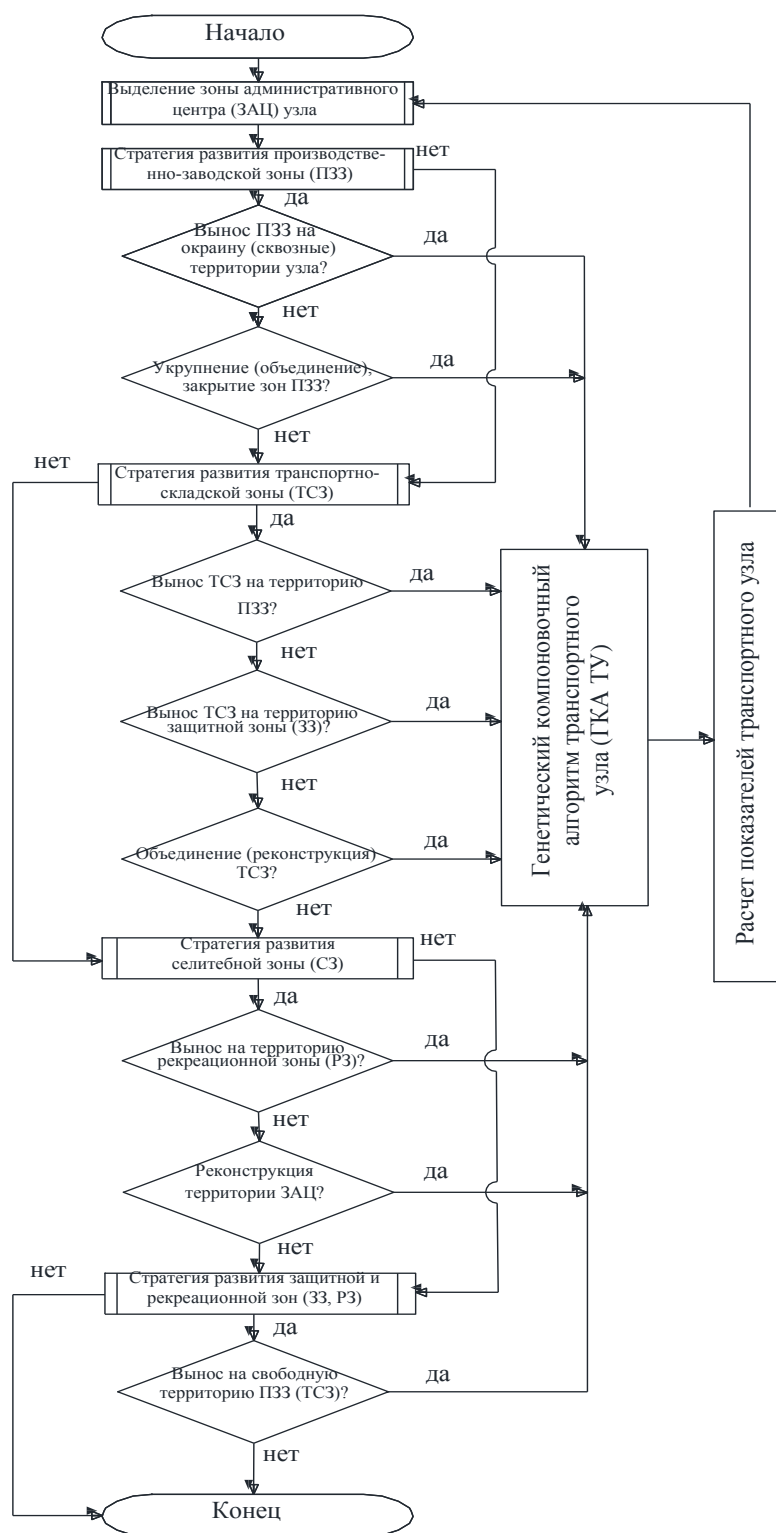


Рис. 1. Алгоритм последовательности выбора узловых компоновочных решений

При выборе вариантов компоновочных решений объектов узла также необходимо учитывать и так называемую постоянную зону больших и крупнейших узлов, внутри которой находятся важные административные, культурные, исторические объекты, – зону административного центра транспортного узла (ЗАЦ).

Для универсальной оценки показателей узловой транспортной инфраструктуры хорошо зарекомендовала себя система классов и балльного рейтинга. В соответствии с [4] класс узла $R \in \{0; 100\}$ формируется из множества значений подклассов показателей $R_{\text{узла}} \in \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, причем каждый

подкласс является в свою очередь подмножеством собственных показателей. Предлагаемая перспективная балльная классификационная система узлов включает в себя I, II, III, IV и V классы. Балльный R-рейтинг узла каждого класса включает по 20 баллов [3].

Для оценки предлагается использовать коэффициент дивергенции (CD), показывающий степень рассеяния компоновок зон и объектов внутри узла (кластера) и помогающий определить их принадлежность к одному кластеру (зоне). Меньшее значение коэффициента CD указывает на большую однородность кластера.

$$CD(TY) = \sqrt{\frac{1}{p} \left\{ \sum_{k=1}^p \left(\frac{x_{ki} - x_{kj}}{x_{ki} + x_{kj}} \right)^2 \right\}},$$

где x_{ki} – абсцисса k -объекта узла (зоны), x_{kj} – ордината k -объекта узла (зоны), p – количество объектов в зоне (узле).

При «идеальных» условиях компоновки инфраструктуры рейтинг узла $R \rightarrow \max$ (100 баллов), а коэффициент дивергенции $CD \rightarrow \min$ (0,01), результаты размещения (объединения, модификации) оцениваются коэффициентом степени развитости инфраструктуры ψ по формуле

$$\psi = \frac{R}{\{CD\} \cdot 10^3},$$

где R – значение балльного рейтинга узла, CD – значение коэффициента дивергенции.

Рациональные компоновки соответствуют стратегии $\psi \rightarrow |1|$, т. е. расположение объектов инфраструктуры транспортного узла соответствует степени его развитости, иными словами, перспектива дальнейшего развития узла возможна лишь при кардинальном изменении его структуры. Чем больше $\Delta = |1 - \psi|$, тем больше разрыв между степенью развитости узла и рациональностью расположения объектов ТУ.

Постановка задачи

На заданной территории транспортного узла при известных положениях точек входа и выхода грузо- и пассажиропотока, положениях центров транспортных нагрузок зон (объектов, предприятий и производств), вариативных параметров и направлений их развития (переноса, объединения, модификации) необходимо таким образом разместить зоны (объекты, предприятия и производства), чтобы сумма транспортных расходов на завоз-вывоз грузов и пассажиров была минимальна при рациональном значении общесистемных показателей оценки компоновочного решения узловых инфраструктуры.

Функция имеет вид:

$$P = \arg \min_T \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \left(C_{ijk}^{жд} \cdot A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}_{ijk}^{жд} \cdot Q_{ijk}^{жд} + C_{ijk}^{авт} \cdot A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}_{ijk}^{авт} \cdot Q_{ijk}^{авт} + C_{ijk}^{вод} \times \right. \\ \left. \times A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}_{ijk}^{вод} \cdot Q_{ijk}^{вод} + C_{ijk}^{гт} \cdot A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}_{ijk}^{гт} \cdot a_{ijk}^{гт} + \dots + B_{ijk} \cdot E_n \right),$$

где $i = 1, \dots, n$ – номер зоны (объекта узла); $j = 1, \dots, m$ – абсцисса центра зоны (объекта); $k = 1, \dots, p$ – ордината центра зоны (объекта); C – стоимость перевозки, руб/т-км (руб/пасс-км); Q – объем перевозок i -й зоны узла, т; a – количество перевезенных пассажиров i -й зоны узла, пасс.; $A^T \{ \mu(L_{(CD)}^*) \}$ – матрица модифицированных расстояний перевозки грузов и пассажиров видов транспорта с учетом коэффициента дивергенции зоны узла в условиях нечеткой постановки задачи; B – капитальные затраты на реконструкцию (строительство) зоны узла по варианту размещения, млрд руб.; E_n – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений.

При ограничениях: $C \geq 0$, $Q \geq 0$, $L \geq 0$, $a \geq 0$, $(A^T)^T = A$.

Таким образом, решается многокритериальная транспортная задача в нечеткой формулировке по критериям рациональности: 1) необходимо наиболее рациональным образом на заданной территории разместить зоны (объекты, предприятия и производства) транспортного узла (методы теории графов, экономико-математический подход, математическая статистика, морфологический анализ); 2) необходимо обеспечить максимальную пропускную способность транспортной инфраструктуры и рациональные показатели компоновочного решения с учетом особенностей внутриузловых взаимодействий зон (методы теории принятия решений, теории систем и кластерного анализа); 3) необходимо учесть возможность перспективного развития узловых зон и объектов, а также узла в целом с учетом сложноформализуемых факторов (метод анализа иерархий и штрафных функций, эволюционная теория, теория активных систем и нечетких множеств).

Для решения задачи разработан новый метод поиска компоновочных решений инфраструктурных объектов транспортного узла, основанный на авторской модификации традиционного генетического алгоритма (ГА) в генетический компоновочный алгоритм транспортного узла (ГКА ТУ), учитывающий случайный выбор, нечеткие множества параметров зон, комбинаторику и вариацию массивов больших данных с использованием аналогий естественного отбора [6]. Этот метод относится к семейству эволюционных вычислений, где оптимизационные задачи решаются через использование принципов естественной эволюции, таких как наследование (развитие), мутации (модификация), отбор (выбор) и кроссингвер – «скрещивание» (объединение) [7]. Последовательность алгоритма кроссингвера для зон ТУ приведена на рис. 2.

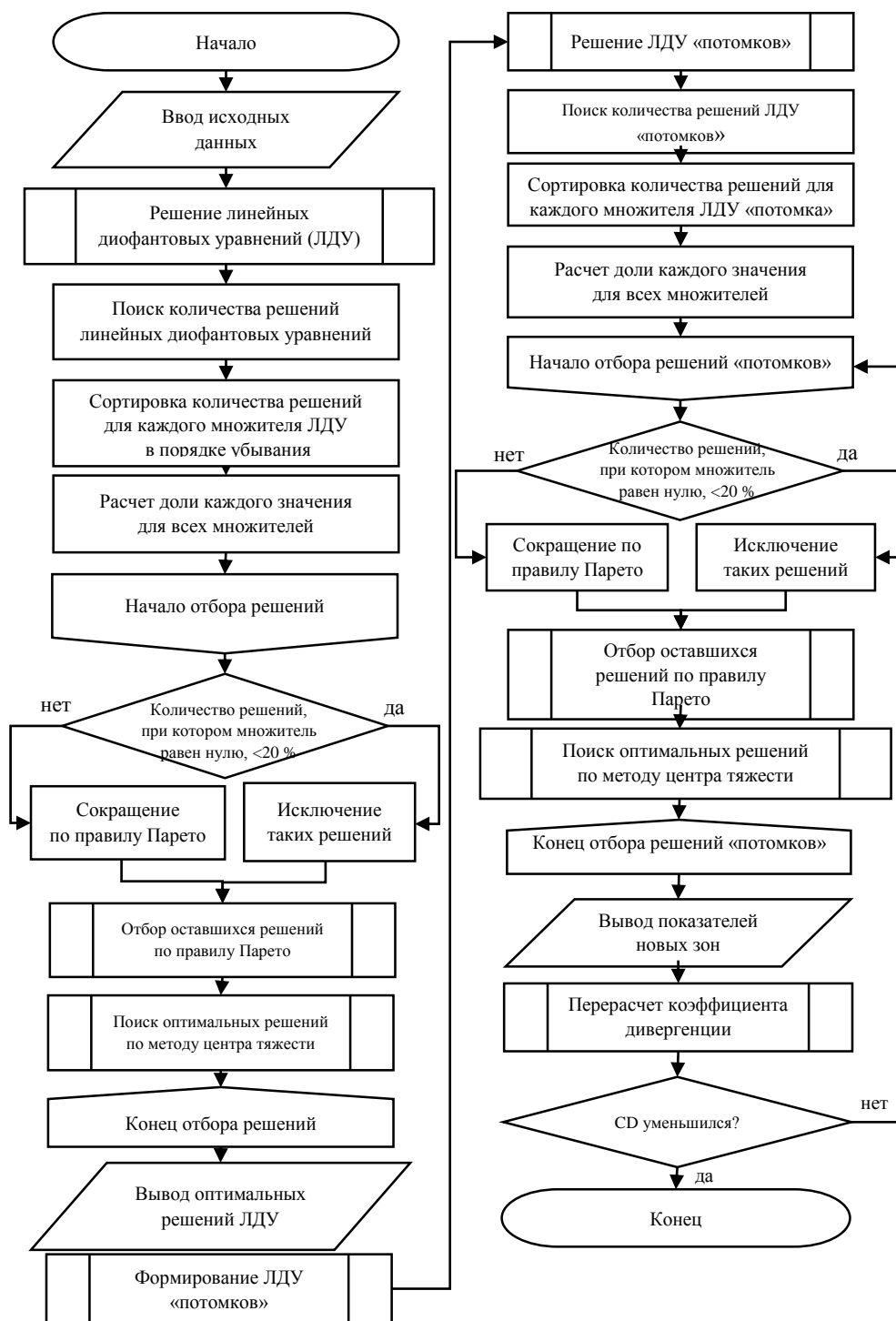


Рис. 2. Алгоритм кроссингвера (объединения) зон транспортного узла в ГКА ТУ и выбора параметров новой зоны

В ГКА ТУ используются эволюционные стратегии:

А) стратегия «только мутация» (модификация зон) с пропорциональным оператором селекции;

Б) стратегия с рекомбинацией (τ , k). Такой оператор рекомбинации предполагает две зоны – «родителей» и одну зону – «потомка». Параметры τ и k может также устанавливать пользователь. Ограничения на параметры имеют следующий вид: $\tau = 1, \dots, l_x - 1$; $k = 1, \dots, \tau$, где l_x – длина «хромосомы» (количество параметров зон размещения).

При размещении согласно ГКА ТУ «хромосома» зоны кодируется списком пар {«номер гена», «значение гена»}, «номер гена» – это номер размещаемого транспортного объекта, а «значение гена» – пара координат центра тяжести размещаемой зоны. «Номер гена» – это целое число, а координаты – два вещественных числа.

Экспериментально исследуются следующие сочетания зон «родителей» и зон «потомков» согласно разработанному алгоритму «размножения»: выбираются пары «родителей» («родитель1» – P1 и «родитель2» – P2) – пары зон ТУ, у которых за счет объединения будет по одному «потомку» («П(1,2)») – новой зоны ТУ с параметрами преобладания данных P1 или P2 согласно стратегии развития узла (рис. 3).

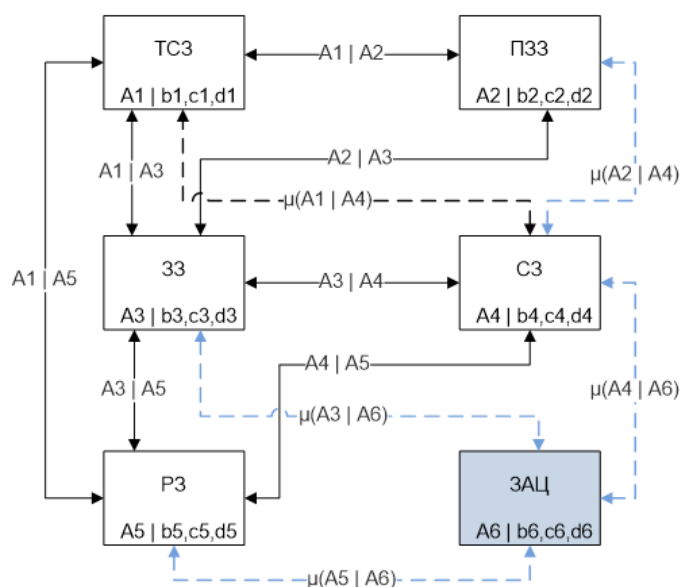


Рис. 3. Алгоритм «размножения» (объединения/перемещения) зон узла в ГКА ТУ [6]

Например, согласно рис. 3 получены варианты – (1, 2), (1, 3), (2, 3), (3, 5), (3, 4), (4, 5), (1, 5), возможные «мутации» (модификации) – соответственно $\mu(1, 4)$, $\mu(3, 6)$, $\mu(5, 6)$, $\mu(4, 6)$, $\mu(2, 4)$.

Решается задача объединения, модификации или ликвидации зон узловых объектов при реконструкции (развитии) ТУ. Для этого используется модифицированный алгоритм «размножения» ГКА ТУ: выбираются пары «родителей» («родитель1» – P1 и «родитель2» – P2) – пары зон ТУ, у которых за счет объединения будет по одному «потомку» П(1,2) – новой зоне ТУ с параметрами преобладания данных P1 или P2. Для этого используется «кроссинговер» вида «|». При модификации объектов узла согласно ГКА ТУ «хромосома» кодируется списком $(a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i)$ – набором шести укрупненных параметров i -й транспортной зоны, определенным в безразмерных величинах [6]. Например, общий вид комбинаторики выбора параметров для зон и их «потомка» – новой зоны «X.-P1 \wedge X.-P2 \rightarrow X.-П(1,2)» – показан на рис. 4.

$$\left(\begin{array}{l} \text{X.-P1: } a_1 | b_1, c_1, d_1, e_1, f_1 \text{ X.-P2: } a_2 | b_2, c_2, d_2, e_2, f_2 \text{ X.-П(1,2): } a_1, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2 \text{ or } a_2, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1; \\ \text{X.-P1: } a_1, b_1 | c_1, d_1, e_1, f_1 \text{ X.-P2: } a_2, b_2 | c_2, d_2, e_2, f_2 \text{ X.-П(1,2): } a_1, b_1, c_2, d_2, e_2, f_2 \text{ or } a_2, b_2, c_1, d_1, e_1, f_1; \\ \text{X.-P1: } a_1, b_1, c_1 | d_1, e_1, f_1 \text{ X.-P2: } a_2, b_2, c_2 | d_2, e_2, f_2 \text{ X.-П(1,2): } a_1, b_1, c_1, d_2, e_2, f_2 \text{ or } a_2, b_2, c_2, d_1, e_1, f_1; \\ \text{X.-P1: } a_1, b_1, c_1, d_1 | e_1, f_1 \text{ X.-P2: } a_2, b_2, c_2, d_2 | e_2, f_2 \text{ X.-П(1,2): } a_1, b_1, c_1, d_1, e_2, f_2 \text{ or } a_2, b_2, c_2, d_2, e_1, f_1; \\ \text{X.-P1: } a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 | f_1 \text{ X.-P2: } a_2, b_2, c_2, d_2, e_2 | f_2 \text{ X.-П(1,2): } a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_2 \text{ or } a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_1; \end{array} \right)$$

Рис. 4. Варианты выбора параметров для X.-P1 \wedge X.-P2 \rightarrow X.-П(1,2)

Составляются и решаются системы линейных диофантовых уравнений (ЛДУ) параметров зон вида:

$$T \cdot a_i + L \cdot b_i + B \cdot c_i + S \cdot d_i + A \cdot e_i + P \cdot f_i = R_{\text{ТУ} i},$$

где T – безразмерный показатель, характеризующий количество видов транспорта зоны; L – показатель длины зоны; B – показатель ширины зоны; S – показатель площади зоны; A – показатель населенности зоны; P – специальный градостроительный показатель зоны.

Следует отметить, что при данном подходе в решении задачи размещения объектов транспортного узла необходимо формирование и эффективное использование больших массивов данных, для обработки которых использованы библиотеки языка программирования Python и разработан программный комплекс ОП ГКА v. 1.0, результаты работы которого представлены на рис. 5–7.

```

15 solutions = []
16 if T == 0 and L == 0 and B == 0 and S == 0 and A == 0 and P == 0:
17     if R == 0:
18         print("Бесконечно много решений, так как все коэффициенты равны 0 и R также 0.")
19     else:
20         print("Нет решений, так как все коэффициенты равны 0, а R не равно 0.")
21     return
22 max_a = R // T if T != 0 else (0 if R != 0 else 0)
23 for a in range(0, max_a + 1) if T != 0 else [0]:
24     remaining1 = R - T * a
25     if T != 0 and a > R // T:
26         continue
27     if remaining1 < 0:
28         continue
29     max_b = remaining1 // L if L != 0 else (0 if remaining1 != 0 else 0)
30     for b in range(0, max_b + 1) if L != 0 else [0]:
31         remaining2 = remaining1 - L * b
32         if L != 0 and b > remaining1 // L:
33             continue
34         if remaining2 < 0:
35             continue
36         max_c = remaining2 // B if B != 0 else (0 if remaining2 != 0 else 0)
37         for c in range(0, max_c + 1) if B != 0 else [0]:
38             remaining3 = remaining2 - B * c
39             if B != 0 and c > remaining2 // B:
40                 continue
41             if remaining3 < 0:
42                 continue
43             max_d = remaining3 // S if S != 0 else (0 if remaining3 != 0 else 0)
44             for d in range(0, max_d + 1) if S != 0 else [0]:
45                 remaining4 = remaining3 - S * d
46                 if S != 0 and d > remaining3 // S:
47                     continue
48                 if remaining4 < 0:
49                     continue
50                 max_e = remaining4 // A if A != 0 else (0 if remaining4 != 0 else 0)
51                 for e in range(0, max_e + 1) if A != 0 else [0]:
52                     remaining5 = remaining4 - A * e
53                     if A != 0 and e > remaining4 // A:
54                         continue
55                     if remaining5 < 0:
56                         continue
57                     if P != 0:
58                         if remaining5 % P == 0 and remaining5 >= 0:
59                             f = remaining5 // P
60                             solutions.append((a, b, c, d, e, f))
61                 else:
62                     if remaining5 == 0:
63                         f = 0

```

Рис. 5. Фрагмент кода программы

Пример использования программы для варианта компоновок транспортного узла «Р»:

1) уравнение поиска рациональных решений ЛДУ зоны «С-П» имеет вид:

$1 \cdot a(i) + 6 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 1 \cdot e(i) + 8 \cdot f(i) = 58$. Всего получено 8701 решение.

а

Ввод данных

Введите значение T:

Введите значение L:

Введите значение B:

Введите значение S:

Введите значение A:

Введите значение P:

Введите значение R:

б

Результат

Общее количество решений до сортировки по Парето: 8701
Общее количество решений после сортировки по Парето: 1076

РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОРНИ:
Рациональный корень для переменной a: 11.45
Рациональный корень для переменной b: 1.53
Рациональный корень для переменной c: 2.51
Рациональный корень для переменной d: 0.75
Рациональный корень для переменной e: 11.45
Рациональный корень для переменной f: 1.04

Рис. 6. Решение ЛДУ зоны «С-П» ТУ «Р»:
а – ввод данных, б – вывод результата расчета

2) уравнение поиска рациональных решений ЛДУ зоны «Р-Т» имеет вид:
 $2 \cdot a(i) + 12 \cdot b(i) + 4 \cdot c(i) + 10 \cdot d(i) + 2 \cdot e(i) + 4 \cdot f(i) = 58$. Всего получено 4931 решение.

а

Ввод данных

Введите значение T:

Введите значение L:

Введите значение B:

Введите значение S:

Введите значение A:

Введите значение P:

Введите значение R:

б

Результат

Общее количество решений до сортировки по Парето: 4931
Общее количество решений после сортировки по Парето: 1206

РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОРНИ:
Рациональный корень для переменной a: 5.63
Рациональный корень для переменной b: 0.59
Рациональный корень для переменной c: 2.58
Рациональный корень для переменной d: 0.78
Рациональный корень для переменной e: 5.63
Рациональный корень для переменной f: 2.58

Рис. 7. Решение ЛДУ зоны «Р-Т» ТУ «Р»:
а – ввод данных, б – вывод результата расчета

Обработка результатов и выводы

В результате составлена ведомость изменения оценок инфраструктур семнадцати ТУ юга России (табл. 2). Получено как повышение, так и снижение значений рейтингов ТУ. Из семнадцати исследуемых транспортных узлов рейтинг десяти ТУ показывает положительное изменение, а рейтинг семи ТУ – снижение баллов. Наибольший рост баллов рейтинга у ТУ «Р» – увеличение баллов на +1,75 (+3,04 %), у ТУ «В» – увеличение баллов на +1,07 (+1,81%), у ТУ «А» – увеличение на +1,06 (+2,79 %). Рейтинг ТУ с наибольшим снижением баллов: ТУ «ТГ» – на -0,87 (-2,09 %), ТУ «Д» – на -0,50 (-2,76 %).

Таблица 2

Ведомость изменения оценок инфраструктур транспортных узлов

ТУ	$R_{\text{сущ}}$	$R_{\text{проект}}$	ΔR	% изменения R	$CD_{\text{сущ}}$	$CD_{\text{проект}}$	ΔCD	% изменения CD	$\Psi_{\text{сущ}}$	$\Psi_{\text{проект}}$
«СЧ»	60,88	60,07	-0,81	-1,33	0,11064	0,10243	-0,0082	-7,42	0,550	0,586
«В»	59,18	60,08	+1,07	+1,81	0,05219	0,05115	-0,0010	-2,00	1,134	1,151
«Р»	57,58	59,33	+1,75	+3,04	0,06603	0,06289	-0,0031	-4,76	0,872	0,943
«М»	57,1	57,11	+0,01	+0,02	0,10186	0,08963	-0,0122	-12,00	0,561	0,637
«К»	55,36	55,69	+0,33	+0,60	0,04996	0,04880	-0,0012	-2,32	1,108	1,141
«С»	49,52	48,77	-0,75	-1,51	0,05871	0,05778	-0,0009	-1,59	0,843	0,844
«ВЛ»	46,82	46,50	-0,32	-0,68	0,08042	0,09209	+0,0117	+14,52	0,582	0,505
«НВ»	45,76	45,62	-0,14	-0,31	0,11447	0,11301	-0,0015	-1,28	0,400	0,404
«ТГ»	41,62	40,75	-0,87	-2,09	0,05662	0,05618	-0,0004	-0,79	0,735	0,725
«А»	37,98	39,04	+1,06	+2,79	0,06186	0,06186	-0,0001	-0,003	0,614	0,631
«Т»	32,62	32,72	+0,1	+0,31	0,05721	0,05438	-0,0028	-4,91	0,570	0,602
«Н»	31,46	31,39	-0,07	-0,22	0,03152	0,02895	-0,0026	-8,14	0,998	1,084
«ВД»	24,74	24,89	+0,15	+0,61	0,11062	0,09973	-0,0109	-9,85	0,224	0,249
«МВ»	18,18	18,40	+0,22	+1,21	0,08972	0,08630	-0,0034	-3,82	0,203	0,213
«Д»	18,1	17,60	-0,5	-2,76	0,06108	0,06096	-0,0001	-0,20	0,296	0,289
«МЗ»	14,38	14,43	+0,05	+0,34	0,09127	0,08581	-0,0055	-5,98	0,157	0,168
«ТХ»	11,6	11,58	-0,02	-0,17	0,06044	0,05810	-0,0023	-3,88	0,192	0,199

Таким образом, увеличение балльных рейтингов транспортных узлов свидетельствует о целесообразности выполненных перестановок инфраструктурных объектов. Хотя и снижение баллов у некоторых ТУ после компоновки не всегда свидетельствует об их значительном инфраструктурном ухудшении. Поскольку балльный рейтинг имеет динамический характер и зависит от всех исследуемых ТУ, то на фоне полученных заметных улучшений параметров некоторых ТУ незначительное улучшение для других ТУ может выглядеть как слабоэффективное в общей стратегии развития. Это требует дальнейшего, отдельного и углубленного, исследования таких ТУ, которое может быть реализовано в программе ОП_ГКА_1.0.

Динамика изменений коэффициентов дивергенции CD узлов (до -12,0 %) после перестановок говорит о повышении однородности расположения объектов ТУ, что является признаком сбалансированного развития инфраструктуры и открывает возможности для внедрения инновационных решений и формирования более гармоничной городской среды.

Области эффективности вариантов размещения объектов инфраструктуры транспортных узлов наглядно показаны на рис. 8.

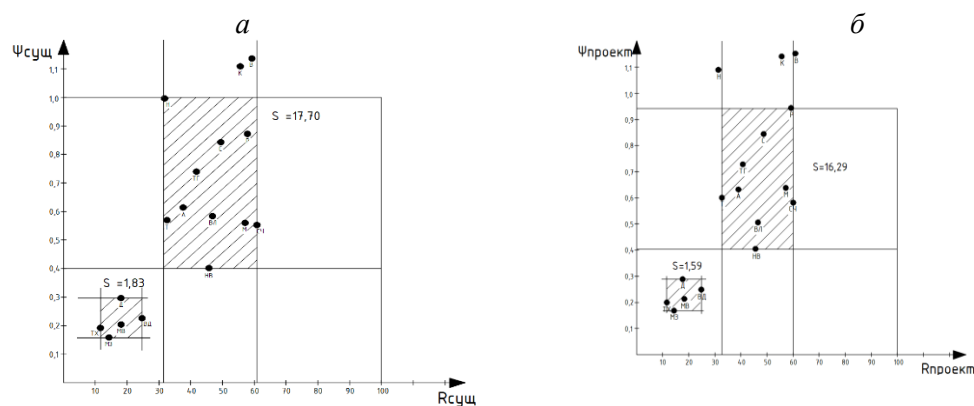


Рис. 8. Области эффективности вариантов размещения объектов инфраструктуры транспортных узлов:

а – существующий вариант, *б* – проектный вариант

Из рис. 8. следует, что получены две области эффективности, площади которых составили: для малых узлов – $S_{\text{м}}^{\text{проект}} = 1,59 \text{ ед.}^2$, для средних и больших узлов – $S_{\text{б}}^{\text{проект}} = 16,29 \text{ ед.}^2$. Изменение площадей составило: $\Delta S_{\text{м}} = 1,83 - 1,59 = 0,24 \text{ ед.}^2$; $\Delta S_{\text{б}} = 17,7 - 16,29 = 1,41 \text{ ед.}^2$.

Введем понятие «плотности» области эффективности относительно количества ТУ – $\rho_{\text{ТУ}}^{\text{проект}} = \frac{S_{\text{ТУ}}^{\text{проект}}}{N_{\text{ТУ}}}$, ед.². В результате получено, что $\rho_{\text{м}}^{\text{проект}} = \frac{1,59}{5} = 0,318 \text{ ед.}^2$, а $\rho_{\text{б}}^{\text{проект}} = \frac{16,29}{9} = 1,81 \text{ ед.}^2$. При этом расположение объектов инфраструктуры транспортных узлов «К», «В» и «Н» соответствует степени их развитости, т. е. $\psi_{\text{сущ}}(K, B, H) \rightarrow \max$.

Заключение

В результате проведенных перестановок количество малых узлов осталось прежним, но площадь области эффективности по сравнению с существующим вариантом уменьшилась на 0,24 ед.², т. е. стала более концентрированной, а инфраструктуры ТУ – унифицированными.

Количество средних и больших узлов в области эффективности уменьшилось с десяти до девяти, а ТУ «Н» попал в область расположения объектов инфраструктуры, соответствующую степени развитости. Кроме того, площадь области эффективности для средних и больших уменьшилась на 1,41 ед.². «Плотность» области эффективности относительно количества ТУ для малых узлов уменьшилась на 0,048 ед.², а для средних и больших – увеличилась на 0,04 ед.². Таким образом, имеет место выравнивание инфраструктурных показателей основных ТУ.

Резюмируя, отметим, что метод размещения узловых зон и объектов согласно ГКА ТУ и программный расчет их параметров в условиях нечеткой параметризации транспортных процессов необходимы как для целей анализа стратегий узлового развития при оценке множества вариантов компоновочных решений в кратчайшие сроки, так и для оценки итоговых проектов развития узла по дополнительным внутрисистемным параметрам.

Список литературы

- 1 Семенов, А. К. Методы системного анализа структуры народного хозяйства / А. К. Семенов. – Москва : Наука, 1974. – 223 с.
- 2 Числов, О. Н. К вопросу моделирования инфраструктурно-технологического взаимодействия в транспортных узлах / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Вестник транспорта Поволжья. – 2023. – № 3 (99). – С. 86–91. – ISSN 1997-0722.
- 3 Числов, О. Н. Принципы формирования комплексного критерия оценки структуры транспортного узла / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (93). – С. 122–131. – DOI 10.46973/0201-727X 2024_1_122.
- 4 Хан, В. В. Интегральная оценка показателей транспортной инфраструктуры железнодорожных узлов / В. В. Хан // Современные аспекты транспортной логистики : сборник трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию кафедры «Технология транспортных процессов и логистика», Хабаровск, 09–10 октября 2014 г. / под редакцией А. С. Балалаева. – Хабаровск : ДВГУПС, 2014. – С. 92–97.
- 5 Дюран, Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл ; перевод с английского Е. З. Демиденко ; под редакцией А. Я. Боярского. – Москва : Статистика, 1977. – 128 с.

Reference

- 1 Semenov, A. K. Methods of systems analysis of the structure of the national economy / A. K. Semenov. – Moscow : Nauka, 1974. – 223 p.
- 2 Chislov, O. N. On the issue of modeling infrastructure and technological interaction in transport hubs / O. N. Chislov, E. E. Mizgireva // Vestnik transporta Povolzhya Bulletin of Transport of the Volga Region. – 2023. – No. 3 (99). – P. 86–91. – ISSN 1997-0722.
- 3 Chislov, O. N. Principles of forming a comprehensive criterion for assessing the structure of a transport hub / O. N. Chislov, E. E. Mizgireva // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2024. – No. 1 (93). – P. 122–131. – DOI 10.46973/0201-727X 2024_1_122.
- 4 Khan, V. V. Integral assessment of transport infrastructure indicators of railway hubs / V. V. Khan // Modern aspects of transport logistics : collection of papers from the International scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the chair "Technology of transport processes and logistics", Khabarovsk, October 9–10, 2014 / edited by A. S. Balalaev. – Khabarovsk : Far Eastern State Transport University, 2014. – P. 92–97.
- 5 Duran, B. Cluster analysis / B. Duran, P. Odell ; translated from English by E. Z. Demidenko ; edited by A. Ya. Boyarsky. – Moscow : Statistics, 1977. – 128 p.

6 **Числов, О. Н.** Генетический компоновочный алгоритм размещения объектов транспортного узла: постановка задачи, формирование и использование массивов данных, методика решения / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева, Н. М. Луганченко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2025. – Т. 22, Вып. 1. – С. 32–46. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-1-32-46.

7 **Числов, О. Н.** Принципы формирования системы оценки показателей инфраструктуры транспортного узла / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева, С. А. Колошин // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2024 – № 1 (6). – С. 164–169. – ISSN 2664-5025.

8 **Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025663676 Российская Федерация** / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева, Н. М. Луганченко. – № 2025661784 ; заявл. 12.05.2025 ; опубл. 29.05.2025.

6 **Chislov, O. N.** Genetic layout algorithm for the placement of transport hub facilities : problem formulation, formation and use of data arrays, and solution methodology / O. N. Chislov, E. E. Mizgireva, N. M. Luganchenko // Proceedings of Petersburg Transport University. – St. Petersburg : PGUPS, 2025. – Vol. 22, Issue 1. – P. 32–46. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-1-32-46.

7 **Chislov, O. N.** Principles of forming a system for assessing transport hub infrastructure indicators / O. N. Chislov, E. E. Mizgireva, S. A. Koloshin // Problems of prospective development of railway stations and junctions. – 2024 – No. 1 (6). – P. 164–169. – ISSN 2664-5025.

8 **Certificate of state registration of computer program No. 2025663676 Russian Federation** / O. N. Chislov, E. E. Mizgireva, N. M. Luganchenko. – No. 2025661784 ; declared 12.05.2025 ; published 29.05.2025.

E. E. Mizgireva

A SOFTWARE PACKAGE FOR SELECTING RATIONAL PARAMETERS OF INFRASTRUCTURE FACILITIES IN THE LAYOUT SOLUTIONS OF A TRANSPORT HUB

Abstract. In the context of dynamic economic and geopolitical changes, it is important to provide adaptation mechanisms that allow for rapid modification of nodal transport and technological processes in accordance with current requirements and circumstances. Preliminary and subsequent software assessment of the parameters of nodal infrastructural and technological interaction at all stages of layout solutions allows us to draw conclusions about the principles of formation of zones and facilities, the correspondence of transport modes and points of nodal interaction, as well as their locations. For these purposes, a comparative analysis of the hub zone indicators was carried out depending on the degree of their impact on the node/ hub structure according to the criteria of decision theory, cluster analysis methods that allow evaluating objects within one zone (cluster) and identifying hidden structures in a data set, determining groups of objects, their similarities and differences. A software package for selecting rational parameters of objects in layout solutions for a transport hub was developed according to the author's modification of a traditional genetic algorithm (GA) into a genetic layout algorithm for a transport hub (GLA TU), taking into account random selection, fuzzy sets of parameters, combinatorics and variation of big data arrays using analogies of natural selection.

Keywords: transport hub, nodal zones, layout solutions, cluster analysis, divergence coefficient, decision theory, genetic layout algorithm, placement efficiency parameters, software package.

For citation: Mizgireva, E. E. A software package for selecting rational parameters of infrastructure facilities in the layout solutions of a transport hub / E. E. Mizgireva // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2025. – No. 2. – P. 208–218. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_208.

Сведения об авторах

Мизгирева Екатерина Евгеньевна
Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Станции и грузовая работа»,
ассистент,
e-mail: BrutalD@yandex.ru

Information about the authors

Mizgireva Ekaterina Evgenievna
Rostov State Transport University (RSTU),
Chair “Stations and Freight Operation”,
Assistant,
e-mail: BrutalD@yandex.ru