

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КЛАССИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ – ФИЛИАЛА ОАО «РЖД»)

Числов О.Н.<sup>1</sup>, Хан В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщений», Ростов-на-Дону, Россия e-mail: o\_chislov@mail.ru

Рассмотрены условия формирования и существующие классификационные признаки железнодорожных узлов. Транспортно-технологические схемы железнодорожных узлов являются сложными и многофакторными. В отечественной транспортной науке разноуровневая классификация узлов с преобладающей геометрической составляющей выполнена разрозненно. Авторами разработана единая системная классификация на основе новых и модифицированных критериев оценки. Предлагается новый метод оценки структур узлов на основе системы пяти классов с использованием модифицированной методики расчета показателей работы и оценки инфраструктуры узла на основе критериев произведений, Гурвица и модифицированного критерия Гермейера. Произведена визуализация узловых инфраструктур в виде графов, рассчитаны уровни организации для количественной оценки сложности узла, определены годовые эксплуатационные расходы. Предложенная научная методика оценки показателей железнодорожных узлов позволит определить условия рационального развития узлов.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, железнодорожный узел, граф узла, классификация, выборка показателей, метод оценки, критерий оценки, транспортная работа, классы узлов.

## SCIENTIFIC METHODOLOGICAL CLASSIFICATION COMPLEX OF RAILWAY JUNCTIONS (ON THE EXAMPLE OF THE NORTH-CAUCASIAN RAILWAY - BRANCH OF THE JSC "RUSSIAN RAILWAYS")

Chislov O.N.<sup>1</sup>, Khan V.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, Russian Federation, e-mail: o\_chislov@mail.ru

The conditions of formation and existing classification attributes railway junctions. Transport technological schemes of railway junctions are difficult and multifactorial. In domestic transport science multilevel classification of junctions with prevailing geometrical component is fragmented. The authors developed uniform classification system based on new and modified estimation criteria. A new method for the evaluation of railway junctions based on a system of five classes with the retrofit methods for calculating performance indicators and criterion of multiplication, Hurwicz criterion, modified Germeier criterion for definition of class are used. Visualization for junction infrastructures in the form of graphs is made, levels of the organization is calculated for a quantitative estimation of complexity of junctions, annual operating costs are defined. The offered scientific estimation method of indicators for railway junctions will allow to define conditions of rational development of junctions.

Keywords: railway infrastructure, railway junction, the graph junction, classification, sample of indicators, estimation method, estimation criteria, transport work, classes of junctions.

Железнодорожный транспорт Российской Федерации за более чем двухвековую историю работы был и остается источником и предпосылкой успехов экономического развития, обороноспособности и социальной устойчивости. Высшей степенью железнодорожной инфраструктурной и транспортной интеграции являются железнодорожный узел – пункт пересечения или примыкания нескольких линий, объединяющих ряд связанных соединительными ходами станций и отдельных пунктов, работающих по единой технологии [3, 5].

Отечественная транспортная наука классифицирует железнодорожные узлы по

характеру эксплуатационной работы, географическому расположению, численности населения, характеру производительных сил, по схеме размещения основных устройств (геометрическому очертанию) и системе управления. Однако, в настоящее время из-за различных деструктивных факторов имеет место объединение в железнодорожных узлах специализированных по характеру работы станций, не наследующих признаков целостной системы и имеющих недостатки: несущественные технологические связи отдельных узловых станций; нерациональная передача поездопотока; непланомерное развитие; отсутствие обходов узлов для пропуска транзита и поездов ВСМ.

Принятое деление узлов по геометрическому размещению станций «размывается» и не в полной мере отражает особенности технологии работы: направления внутриузловых поездопотоков; интенсивность работы; соотношение грузовых и пассажирских перевозок; степень взаимодействия с другими видами транспорта; уровень обслуживания предприятий, производств и населения; неопределенность среды функционирования транспортно-технологических систем узла; отсутствие достаточно достоверных прогнозных данных; возможность автоматизации систем управления; экологическую нагрузку и т.п.

### **1. История формирования узловой инфраструктуры железных дорог**

Первые железнодорожные узлы в России начали формироваться [3] в 1853 г., когда между станциями Петербург-Московский и Петербург-Варшавский была построена соединительная ветвь. Впоследствии такие ветви соединили станции Балтийской и Варшавской железных дорог и станцию Петербург-Сортировочный-Московский, портовая ветвь соединила Варшавскую линию со станцией Новый порт и станцию Пущино до Морской пристани. Так к началу 80-х годов зародился Петербургский ж.-д. узел.

Московский узел начал формироваться в середине 60-х годов, когда были построены соединительные ветви между станцией Москва-Курская и постом Петербурго-Московской дороги (1866 г.), а также между станциями Москва-Западная и Москва Петербурго-Московской дороги (1870 г.). К 1908 г. в Московском узле все железнодорожные линии были соединены Окружной железной дорогой; таким образом, был создан первый российский железнодорожный узел кольцевого типа.

Начало формирования железнодорожных узлов в южных регионах России связано с постройкой в 1875 г. соединительной обводной ветви между станциями Ростов и Кизитеринка, обеспечившей следование поездов с Воронежской линии на юг и обратно. Дальнейшее развитие железнодорожных узлов было связано со строительством и примыканием новых линий к существующим и специализация станций. В 1875–1902 гг. были созданы железнодорожные узлы в Воронеже, Харькове, Курске, Бресте, Барановичах и других крупных населенных пунктах

С 1923 г. началось объединение железнодорожных узлов с передачей управления ими на одну дорогу и концентрацией работы на более развитых станциях. К 1927 г. было объединено около 70 узлов. Это позволило упорядочить работу узлов, повысить перерабатывающую способность, ускорить формирование поездов, уменьшить простой вагонов и сократить эксплуатационные расходы. Были выполнены работы по развитию Свердловского (1931–1933 гг.), Синарского, Тагильского, Пермского, Челябинского узлов (1933–1935 гг.). В Новосибирске в 1933–1934 гг. сооружена сортировочная станция Инская. В 1934 г. сдана в эксплуатацию станция Магнитогорск-Сортировочный.

Рост размеров движения на направлениях, связывающих Центр с югом, вызвал необходимость переустройства Ростовского узла. В Ростовском узле была построена двусторонняя сортировочная станция Батайск (1927–1929 гг.). Северо-Кавказская железная дорога (СКЖД) – филиал ОАО «РЖД» пролегла по территории, ограниченной Азовским и Черным морями на западе и Каспийским на востоке, Восточно-Донской грядой на севере и Кавказским хребтом на юге. Важнейшие железнодорожные узлы СКЖД – Ростовский, Батайский, Лиховской, Новороссийский, Минераловодский и др. образованы в местах пересечения железнодорожных магистралей, в крупных административных зонах и промышленно развитых районах.

Российский научный опыт проектирования генеральных планов железнодорожных узлов был накоплен в результате огромной работы, проделанной научно-исследовательскими и проектными институтами, ВУЗами России совместно с крупнейшими специалистами – учеными-транспортниками и архитекторами. Методы проектирования узлов обоснованы и теоретически развиты в работах академиков И.П. Бардина, М.А. Павлова, В.Н. Образцова, профессоров С.П. Бузанова, А.С. Герасимова, С.Е. Гибшмана, П.Ф. Дубинского, С.В. Земблинова, И.И. Костина, В.Д. Никитина, Ф.И. Шаульского, К.Ю. Скалова, Н.Е. Ускова, выдающихся инженеров – С.С. Берлянда, А.А. Волнина, А.С.Гельмана, К.П. Костенецкого, С.И. Лабадина, А.Н. Неллингера, Л.Е. Плешкова и др. Важный вклад в разработку современной теории проектирования транспортно-технологических систем узлов внесли профессор Е.В. Архангельский, В.М. Акулиничев, А.К. Головнич, А.Т. Дерibas, В.А. Дмитриев, Ю.И. Ефименко, Б.Б. Жардемев, И.Т. Козлов, В.Я. Негрей, В.М. Николашин, А.Т. Осьминин, В.А. Персианов, Н.В. Правдин, В.В. Повороженко, А.А. Смехов, Н.К. Сологуб, Н.Н. Шабалин, М.И. Шмулевич и др., кандидаты технических наук В.М. Мирошниченко, В.Н. Дегтяренко, А.С. Писанко, В.А. Покавкин, А.Я. Локтев, В.А. Бураков, К.М. Добросельский, К.К. Таль, А.Н. Корешков, А.М. Корнаков, С.И. Логинов, Ю.П. Наяшков, Е.И. Сычев, В.Н. Чернов, Е.Г. Лазарев, В.М. Астафьев и др.

## 2. Методы визуализации узловой инфраструктуры

Железнодорожный узел является важным инфраструктурным элементом железных дорог, обеспечивающим эффективную работу всей транспортной сети. Пребывание подвижного состава в узле составляет 50–60 % всего времени оборота, в узлах концентрируется основной объем сортировочной работы с удельным весом в общей переработке вагонов на железнодорожной сети – более 40 %.

Формализация железнодорожной схемы узла является важной задачей и должна отвечать многим требованиям. Наиболее полно для решения поставленных целей отвечает теория графов, позволяющая описывать геометрические схемы узлов и станций при помощи планарного связанного графа  $G = \{X, U\}$ , где  $X$  – множество вершин графа,  $X \in \{X_1, X_2, X_3 \dots X_n\}$ ;  $U$  – множество ребер графа, соединяющих вершины,  $U \in \{(X_1; X_2), (X_2; X_3) \dots (X_{n-1}; X_n)\}$ . Граф представляется квадратной *матрицей смежности*  $A = [a_{ij}]$  порядка  $n \times n$ , где  $n$  – количество вершин графа. Элементы матрицы  $a_{ij}$ , стоящие на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца принимают значения 0 или 1, в зависимости от наличия или отсутствия связи.

В виде графов выполнена визуализация узловых инфраструктур 17 основных железнодорожных узлов Северо-Кавказской железной дороги: Ростовского, Батайского, Таганрогского, Лиховского, Минераловодского, Прохладненского, Гудермесского, Махачкалинского, Краснодарского, Кавказского, Тихорецкого, Новороссийского, Крымского и др. Рассмотрены также характерные узлы других дорог: Московский, Санкт-Петербургский, Астраханский, Череповецкий, Вологодский и др. Одновременно, для количественной оценки меры сложности узла [7, 9] разработаны вероятностные модели узловых инфраструктур. Тогда, уровень организации узловой транспортной структуры (системы) или ее «избыточность» равна  $R = 1 - H/H_{max}$ , где  $R$  – уровень относительной организации системы или «избыточность»;  $H$  – текущее (фиксированное на данный момент времени) значение неопределенности системы;  $H_{max}$  – максимально возможная неопределенность системы. Изменение уровня организации системы характеризуется изменением ее неопределенности, мерой степени которой может быть принята энтропия, определяемая по формуле  $H = -\sum_{i=1}^n P(A_i) \log_a P(A_i)$  где  $A_i$  – состояние системы;  $P(A_i)$  – вероятностный показатель состояния системы ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $n$  – количество возможных состояний системы;  $a = 2$  – основание логарифма.

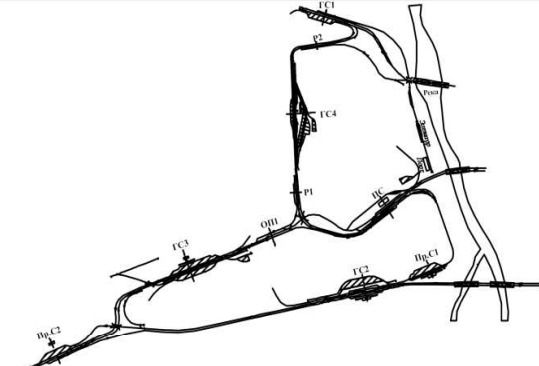
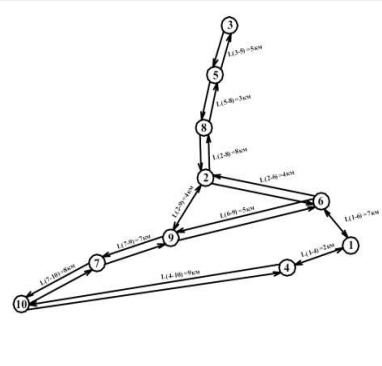
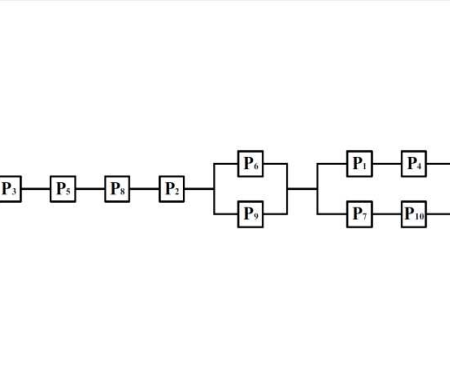
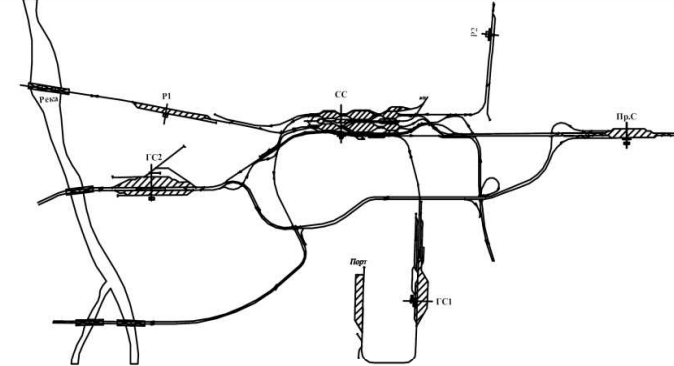
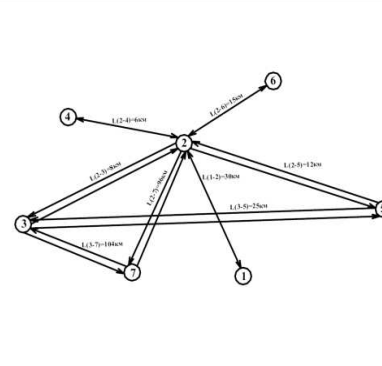
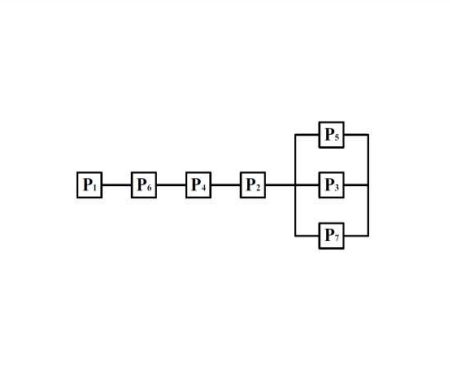
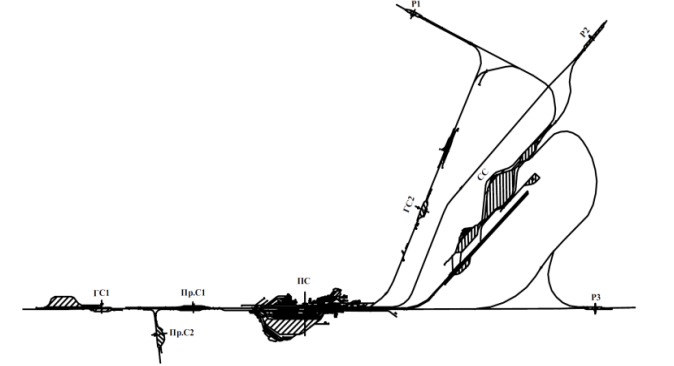
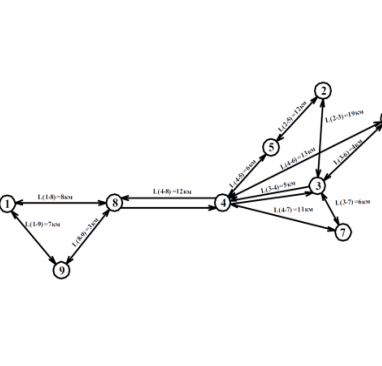
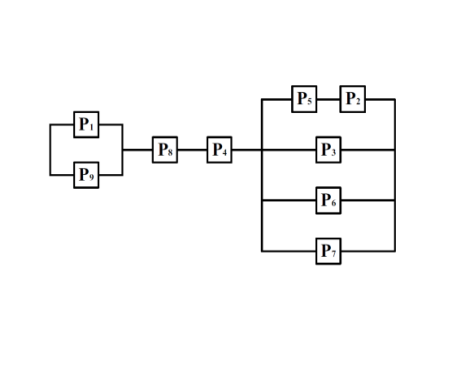
Наименование узла	Схема узла	Граф узла	Вероятностная модель узла
Р			
Б			
К			

Рис. 1. Примеры схем, графов и вероятностных моделей железнодорожных узлов

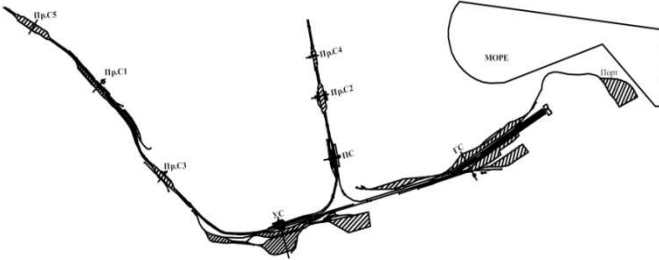
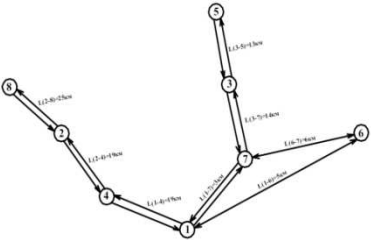
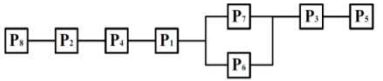
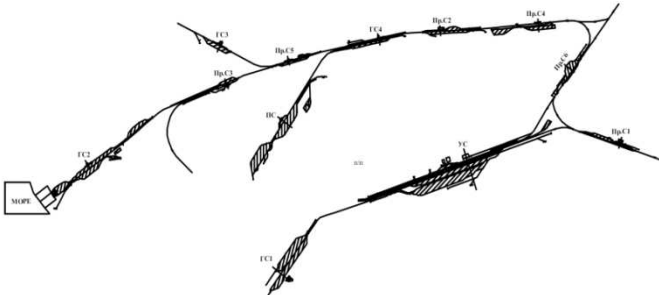
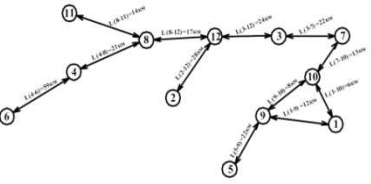
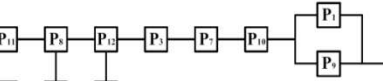
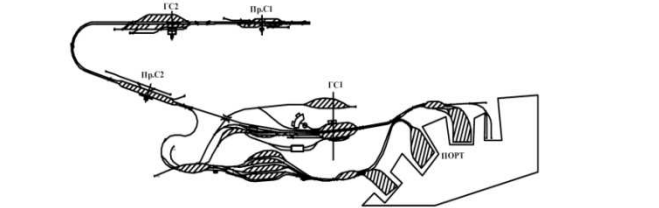
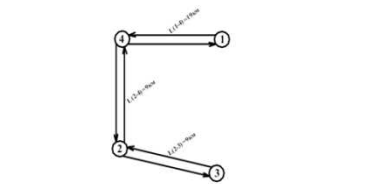
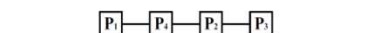
Наименование узла	Схема узла	Граф узла	Вероятностная модель узла
Т			
С			
Н			

Рис. 2. Примеры схем, графов и вероятностных моделей железнодорожных узлов

Каждую узловую подсистему можно характеризовать энтропией двух случаев: вероятностью безотказной работы  $p$  и вероятностью отказа (задержек)  $q=1-p$ . Тогда  $H = -(p \cdot \log_a p + q \cdot \log_a q)$ .

На рис. 1 и 2 представлены схемы железнодорожных узлов, их графы и вероятностные модели. В табл. 1 представлены инфраструктурные показатели узлов, а в табл. 2 – расчетные значения уровней организации узловых структур.

Таблица 1

Инфраструктурные показатели узлов

Наименование узла	Количество станций	Протяженность главных путей узла, км	Приемо-отправочные пути, км	Сортировочные пути, км	Погрузочно-выгрузочные пути, км
Узел «Р»	10	62	64	59	61
Узел «Б»	7	296	74	62	25
Узел «Т»	8	104	33	25	35
Узел «Л»	9	99	98	34	16
Узел «М»	10	151	57	20	37
Узел «П»	12	206	52	27	48
Узел «Г»	13	225	65	19	33
Узел «Ч»	6	90	39	31	31
Узел «К»	9	80	50	47	25
Узел «З»	12	142	97	33	27
Узел «Х»	7	64	64	31	22
Узел «Н»	4	37	30	45	31
Узел «С»	12	246	45	25	23

Таблица 2

Ведомость расчета уровней организации узлов

Наименование узла	$p = e^{-\lambda t} / q = (1 - e^{-\lambda t})$	$H/H_{max}$	$R$
Узел «Р»	0,05/0,95	0,29/3,32	0,914
Узел «Б»	0,13/0,87	0,56/2,81	0,801
Узел «Т»	0,21/0,79	0,74/3,0	0,753
Узел «Л»	0,02/0,98	0,14/3,17	0,955
Узел «М»	0,03/0,97	0,19/3,32	0,941
Узел «П»	0,01/0,99	0,08/3,58	0,977
Узел «Г»	0,01/0,99	0,08/3,7	0,978
Узел «Ч»	0,1/0,9	0,47/2,58	0,819

Из табл. 2 следует, что средний уровень организации узлов составляет от 0,753 до 0,978, причем в узлах тупикового типа он принимает меньшее значение.

### 3. Цель исследования. Методы оценки структур железнодорожных узлов

В отечественной транспортной науке оценка структур и уровней транспортно-технологической организации железнодорожных узлов выполнена несколько разрозненно с большой долей эмпирической составляющей. Целесообразно отойти от разноуровневой

классификации узлов с преобладающей геометрической составляющей и разработать единую системную классификацию на основе новых и модифицированных критериев оценки. Следует отметить, что работы в данном направлении уже ведутся, например расчет семизначного «персонального кода» железнодорожного узла [2], но ограничены из-за сложности и многовариантности.

Предлагается новый метод оценки показателей транспортной инфраструктуры железнодорожных узлов в виде системы классов и их балльного рейтинга. Класс узла  $K$  формируется из множества значений подклассов  $K_{узда} = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$  показателей.

Последовательность оценки может быть представлена в виде этапов.

**Этап 1.** Оценка технологической работы железнодорожных узлов на основе модифицированной системы показателей [4]:

- работа узла в единицу времени (транспортная производительность)

$R(t) = \frac{N \cdot L}{T}, \frac{\text{поездо} \cdot \text{км}}{\text{ч}}$ , где  $N$  – поездопоток узла;  $T = 24$  ч – период времени;  $L$  – пробег по главным путям узла, км;

- размер движения  $M(t) = \frac{N \cdot L}{V}$ , поездо · ч, где  $V$  – участковая скорость, км/ч;

- линейная плотность поездопотока  $P(L) = \frac{N}{L}, \frac{\text{поезд}}{\text{км}}$ ;

- размер транспортного действия  $R^*(t) = N \cdot L \cdot V = \frac{N \cdot L^2}{T}, \frac{\text{поездо} \cdot \text{км}^2}{\text{ч}}$ ;

- плотность поездопотока по площади узла  $\rho(L) = \frac{N}{L^2}, \frac{\text{поезд}}{\text{км}^2}$ ;

- транспортное давление  $P(T) = \frac{N}{L \cdot T}, \frac{\text{поезд}}{\text{км} \cdot \text{ч}}$ ;

- грузовая интенсивность  $\rho(T) = \frac{N \cdot L}{T/L} = \frac{N}{T}, \frac{\text{поезд}}{\text{ч}}$ .

Например, для узла «Р» показатели составили: работа в единицу времени  $R(t) = \frac{43 \cdot 62}{24} = 111 \frac{\text{поездо} \cdot \text{км}}{\text{ч}}$ ; количество движения  $M(t) = \frac{43 \cdot 62}{35,7} = 75$  поездо · ч; плотность поездов

$P(L) = \frac{43}{62} = 0,7 \frac{\text{поезд}}{\text{км}}$ ; транспортное действие  $R^*(t) = 43 \cdot 62 \cdot 35,7 = 95176 \frac{\text{поездо} \cdot \text{км}^2}{\text{ч}}$ ;

плотность по площади  $\rho(L) = \frac{43}{62^2} = 0,011 \frac{\text{поезд}}{\text{км}^2}$ ; транспортное давление  $P(T) = \frac{43}{62 \cdot 24} =$

$0,03 \frac{\text{поезд}}{\text{км} \cdot \text{ч}}$ ; грузовая интенсивность  $\rho(T) = \frac{43}{24} = 1,8 \frac{\text{поезд}}{\text{ч}}$ .

**Этап 2.** Расчет средневзвешенного стратегического значения класса узловых станций по формуле  $S_K = \sqrt[n]{i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_n}$ , где  $n$  – количество станций в узле;  $i$  – класс каждого отдельного пункта. Принято, что если станция внеклассная, то ее значение класса  $i$  не вносится в квадратный корень, но учитывается в количестве станций  $n$ . Например, средневзвешенное значение классов станций узла «Р» будет равно (при двух внеклассных станциях):  $S_K^P = \sqrt[10]{4 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 5} = 2,92$ .



В табл. 3 рассчитаны показатели работы основных железнодорожных узлов.

Таблица 3

Показатели работы железнодорожных узлов

Узел	$L$	$N$	$V$	$R(t)$	$M(t)$	$P(L)$	$R^*(t)$	$\rho(L)$	$P(T)$	$\rho(T)$
«Р»	62	43	35,7	111,08	74,678	0,694	95176	0,011	0,029	1,79
«Б»	296	109	35,7	1344,3	903,754	0,368	1151825	0,001	0,015	4,54
«Т»	104	36	35,7	156	104,874	0,346	133661	0,003	0,014	1,50
«Л»	99	133	35,7	548,63	368,824	1,343	470062	0,014	0,056	5,54
«М»	151	42	35,7	264,25	177,647	0,278	226409	0,002	0,012	1,75
«П»	206	25	35,7	214,58	144,258	0,121	183855	0,001	0,005	1,04
«Г»	225	31	35,7	290,63	195,378	0,138	249008	0,001	0,006	1,29
«Ч»	90	25	35,7	93,75	63,025	0,278	80325	0,003	0,012	1,04
«К»	80	74	35,7	246,67	165,826	0,925	211344	0,012	0,039	3,08
«З»	142	102	35,7	603,5	405,714	0,718	517079	0,005	0,03	4,25
«Х»	64	92	35,7	245,33	164,930	1,438	210202	0,022	0,06	3,83
«Н»	37	32	35,7	49,333	33,165	0,865	42269	0,023	0,036	1,33
«С»	246	73	35,7	748,25	503,025	0,297	641101	0,001	0,012	3,04

**Этап 3.** Расчет годовых эксплуатационных расходов по развозу внутриузлового грузопотока  $\Pi(L)$ , млн руб. выполняется по формуле  $\Pi(L) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} \cdot c_{ij} \cdot L_{ij} + B \cdot E_n$ , при

ограничениях  $\sum_{i=1}^n q_i = Q$ ;  $Q > 0, Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}; c_{ij} > 0$ , где  $q_i$  – объем перевозок между узловой

сортировочной (распределительной) станцией и  $i$ -й станцией назначения ( $i = 1, \dots, n$ );  $j$  – место размещения  $i$ -й станции назначения груза ( $j = 1, \dots, m$ );  $Q$  – общий объем перевозок грузов от узловой сортировочной (распределительной) станции, расположенной в  $j$ -м месте узла, до  $i$ -х грузовых станций;  $c_{ij}$  – стоимость перевозок 1 т груза до  $i$ -й станции назначения, расположенной в  $j$ -м месте узла, руб./ткм;  $B$  – капитальные затраты на строительство сортировочной (распределительной) станции, млн руб.;  $E_n$  – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений;  $Q_{\min}$  – минимальный объем сортировочной работы, при котором целесообразно строительство самостоятельной узловой сортировочной станции;  $Q_{\max}$  – максимальный объем сортировочной работы для данного типа сортировочной станции.

Решение транспортной задачи выполняется разработанным в [8] комбинаторным методом.

**Этап 4.** Формируется сводная ведомость показателей, характеризующих узловые структуры (табл. 4), и проводится сравнительный анализ показателей в зависимости от степени их воздействия (положительного или отрицательного) на структуру узла по следующим критериям: произведений, Гурвица и разработанному модифицированному критерию Гермейера[1].

Таблица 4

Сводная ведомость показателей узловых структур

Узел	L	k(θ1)	N	k(θ2)	μуг	k(θ3)	R(t)	k(θ4)	M(t)	k(θ5)	P(L)	k(θ6)	R*(t)	k(θ7)	ρ(L)	k(θ8)	P(LT)	k(θ9)	ρ(T)	k(θ10)	kmуг	k(θ11)	S <sub>K</sub>	k(θ12)
Р	62	10,556	1704	47,550	64	50,500	4403,15	21,675	2960,10	21,675	27,49	73,755	3772617	21,675	0,443	78,522	1,15	73,755	71,02	47,550	26,63	60,477	2,92	61,343
Б	296	100,000	1419	36,839	74	65,059	17503,47	95,248	11767,04	95,248	4,79	3,364	14996970	95,248	0,016	1,000	0,20	3,364	59,13	36,839	19,18	28,873	2,57	83,753
Т	104	26,610	465	1,000	33	5,368	2013,73	8,255	1353,77	8,255	4,47	2,352	1725360	8,255	0,043	5,857	0,19	2,352	19,36	1,000	14,08	7,264	2,65	79,144
Л	99	24,699	1808	51,426	98	100,000	7456,73	38,824	5012,93	38,824	18,26	45,125	6388927	38,824	0,184	31,529	0,76	45,125	75,32	51,426	18,45	25,767	2,86	64,962
М	151	44,575	976	20,187	57	40,309	6138,87	31,423	4126,97	31,423	6,46	8,534	5259783	31,423	0,043	5,826	0,27	8,534	40,65	20,187	17,12	20,136	2,32	100,000
П	206	65,598	831	14,741	52	33,029	7129,89	36,988	4793,20	36,988	4,03	1,000	6108889	36,988	0,020	1,613	0,17	1,000	34,61	14,741	15,97	15,288	2,56	84,966
Г	225	72,861	916	17,963	65	51,956	8591,91	45,199	5776,08	45,199	4,07	1,127	7361550	45,199	0,018	1,346	0,17	1,127	38,19	17,963	14,10	7,339	3,40	30,158
Ч	90	21,259	492	2,009	39	14,103	1843,42	7,299	1239,27	7,299	5,46	5,434	1579443	7,299	0,061	9,073	0,23	5,434	20,48	2,009	12,60	1,000	3,55	20,414
К	80	17,436	1106	25,074	50	30,118	3686,15	17,648	2478,09	17,648	13,82	31,365	3158297	17,648	0,173	29,415	0,58	31,365	46,08	25,074	22,12	41,333	2,93	60,554
З	142	41,135	3101	100,000	97	98,544	18349,56	100,000	12335,84	100,000	21,84	56,230	15721899	100,000	0,154	25,970	0,91	56,230	129,22	100,000	31,97	83,122	2,34	98,998
Х	64	11,320	2301	69,949	64	50,500	6136,00	31,407	4125,04	31,407	35,95	100,000	5257325	31,407	0,562	100,000	1,50	100,000	95,88	69,949	35,95	100,000	3,85	1,000
Н	37	1,000	468	1,133	30	1,000	721,90	1,000	485,31	1,000	12,66	27,745	618526	1,000	0,342	60,129	0,53	27,745	19,51	1,133	15,61	13,738	2,94	59,833
С	246	80,888	1437	37,520	45	22,838	14732,67	79,687	9904,31	79,687	5,84	6,615	12622949	79,687	0,024	2,371	0,24	6,615	59,89	37,520	31,94	82,987	2,92	61,326

Критерий Гурвица (*HW*-критерий) характеризуется взвешенной позицией пессимизма-оптимизма, отражающей отношение лица, принимающего решение к неопределённости экономических результатов. В данном подходе при сравнении альтернативных вариантов за основу принимаются «взвешенные» критерии «крайнего» пессимизма (*MM*-критерием) и «крайнего» оптимизма (*H*-критерием). Выбирается решение, применительно к которому «взвешенная» оценка будет наиболее приемлемой (наибольшей). Целевая функция критерия представлена следующим образом  $Z_{HW} = \max_i \{K_i\}$ ,  $K_i = \min_j \{a_{ij}\} + (1-c) \cdot \max_j \{a_{ij}\}$ , где  $c$  – соответствующий «весовой» коэффициент, в расчетах принят 0,45..

Критерий произведений (*P*-критерий) характеризуется менее пессимистической позицией к неопределённости экономического результата, чем максиминный *MM*-критерий, но более пессимистической, чем нейтральный *N*-критерий. При нахождении параметра, характеризующего альтернативное решение, элементы матрицы полезностей соответствующей строки перемножаются. Целевая функция критерия имеет вид  $Z_p = \max_i \{K_i\}$ ,  $K_i = \prod_1^n a_{ij}$ . Так как при использовании значительного числа оценочных факторов показатель критерия получается излишне громоздким, предлагается привести его к виду средневзвешенного значения  $K_i = \sqrt[n]{\prod_1^n a_{ij}}$ .

Критерий Гермейера ориентирован на отрицательные значения элементов векторов-строк в матрице полезностей, характеризующих анализируемые решения. Она применяется в основном для решения задач выбора по оптимизации величины потерь или затрат. Матрица



Таблица 6

## Ранжирование показателей узлов по G(mod)-критерию

Узел	$k(\theta_1)$	$k(\theta_2)$	$k(\theta_3)$	$k(\theta_4)$	$k(\theta_5)$	$k(\theta_6)$	$k(\theta_7)$	$k(\theta_8)$	$k(\theta_9)$	$k(\theta_{10})$	$k(\theta_{11})$	$k(\theta_{12})$	G(mod) критерий	Ранжирование
Р	131,950	594,371	631,250	270,932	270,932	921,943	270,932	981,519	921,943	594,371	604,773	613,433	131,950	4
Б	1250,000	460,491	813,235	1190,603	1190,603	42,050	1190,603	12,500	42,050	460,491	288,735	837,528	12,500	8
Т	332,625	12,500	67,096	103,189	103,189	29,401	103,189	73,214	29,401	12,500	72,643	791,440	12,500	8
Л	308,736	642,830	1250,000	485,300	485,300	564,057	485,300	394,118	564,057	642,830	257,675	649,621	257,675	2
М	557,191	252,342	503,860	392,783	392,783	106,680	392,783	72,824	106,680	252,342	201,364	1000,000	72,824	5
П	819,981	184,264	412,868	462,355	462,355	12,500	462,355	20,159	12,500	184,264	152,881	849,656	12,500	8
Г	910,763	224,536	649,449	564,992	564,992	14,083	564,992	16,821	14,083	224,536	73,388	301,585	14,083	7
Ч	265,734	25,113	176,287	91,233	91,233	67,924	91,233	113,417	67,924	25,113	10,000	204,137	10,000	9
К	217,954	313,419	376,471	220,597	220,597	392,065	220,597	367,690	392,065	313,419	413,332	605,540	217,954	3
З	514,189	1250,000	1231,801	1250,000	1250,000	702,879	1250,000	324,631	702,879	1250,000	831,218	989,980	324,631	1
Х	141,506	874,364	631,250	392,582	392,582	1250,000	392,582	1250,000	1250,000	874,364	1000,000	10,000	10,000	9
Н	12,500	14,169	12,500	12,500	12,500	346,808	12,500	751,612	346,808	14,169	137,377	598,330	12,500	8
С	1011,100	469,002	285,478	996,086	996,086	82,688	996,086	29,633	82,688	469,002	829,871	613,259	29,633	6
$q=$	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1		

Таблица 7

## Ранжирование показателей узлов по Р-критерию

Узел	$k(\theta_1)$	$k(\theta_2)$	$k(\theta_3)$	$k(\theta_4)$	$k(\theta_5)$	$k(\theta_6)$	$k(\theta_7)$	$k(\theta_8)$	$k(\theta_9)$	$k(\theta_{10})$	$k(\theta_{11})$	$k(\theta_{12})$	Р критерий	Ранжирование
Р	10,556	47,550	50,500	21,675	21,675	73,755	21,675	78,522	73,755	47,550	60,477	61,343	40,495	3
Б	100,000	36,839	65,059	95,248	95,248	3,364	95,248	1,000	3,364	36,839	28,873	83,753	27,753	6
Т	26,610	1,000	5,368	8,255	8,255	2,352	8,255	5,857	2,352	1,000	7,264	79,144	5,816	12
Л	24,699	51,426	100,000	38,824	38,824	45,125	38,824	31,529	45,125	51,426	25,767	64,962	43,099	2
М	44,575	20,187	40,309	31,423	31,423	8,534	31,423	5,826	8,534	20,187	20,136	100,000	22,769	8
П	65,598	14,741	33,029	36,988	36,988	1,000	36,988	1,613	1,000	14,741	15,288	84,966	13,852	9
Г	72,861	17,963	51,956	45,199	45,199	1,127	45,199	1,346	1,127	17,963	7,339	30,158	13,672	10
Ч	21,259	2,009	14,103	7,299	7,299	5,434	7,299	9,073	5,434	2,009	1,000	20,414	6,084	11
К	17,436	25,074	30,118	17,648	17,648	31,365	17,648	29,415	31,365	25,074	41,333	60,554	26,703	7
З	41,135	100,000	98,544	100,000	100,000	56,230	100,000	25,970	56,230	100,000	83,122	98,998	74,097	1
Х	11,320	69,949	50,500	31,407	31,407	100,000	31,407	100,000	100,000	69,949	100,000	1,000	37,857	4
Н	1,000	1,133	1,000	1,000	1,000	27,745	1,000	60,129	27,745	1,133	13,738	59,833	4,373	13
С	80,888	37,520	22,838	79,687	79,687	6,615	79,687	2,371	6,615	37,520	82,987	61,326	30,677	5

**Этап 5.** Ранжирование железнодорожных узлов в соответствии с классами разработанного научно-методического комплекса.

#### 4. Научно-методический комплекс классификации железнодорожных узлов

На кафедре «Станции и грузовая работа» ФГБОУ ВПО РГУПС (г. Ростов-на-Дону) выполняются научные исследования по созданию новой методики классификации железнодорожных узлов. Перспективная классификационная система узлов представлена в виде I, II, III, IV и V класса (табл. 8), в которых общесистемный класс узла  $K^*$  включает множество показателей подклассов  $K^* = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ , причем каждый подкласс является в свою очередь подмножеством своих показателей, так что  $\forall k_n [k \in K^*]$ .

Таблица 8

#### Классификация железнодорожных узлов

Класс	Наименование	Назначение	Признаки размещения	Баллы
I	Крупнейшие ж.-д. узлы	Ж.-д. узлы сетевого исключительно важного федерального значения, в т. ч. в международном транспортном процессе	В крупнейших городских и промышленно-транспортных агломерациях. Одна и более сортировочных станций сетевого значения	81-100
II	Крупные ж.-д. узлы (1-й тип)	Ж.-д. узлы сетевого значения на линиях общего пользования, региональные	Одна сетевая или региональная сортировочная станция	61-80
III	Крупные ж.-д. узлы (2-й тип)	Ж.-д. узлы сетевого значения промышленно-транспортных центров	Региональная сортировочная станция или промышленная	41-60
IV	Средние ж.-д. узлы	Ж.-д. узлы административных районов, добывающей и обрабатывающей промышленности	Распределительная станция, промышленная сортировочная станция	21-40
V	Малые ж.-д. узлы	Ж.-д. узлы малодеятельных линий, узлы с одной станцией	Распределительная станция	1-20

Расчет значения критерия оценки узла для рассматриваемых вариантов при  $n_1=0,33, n_2=0,33, n_3=0,34$  сведены в табл. 9.

Таблица 9

Значения критерия оценки узла

Узел	$G(mod)$ критерий	$HW$ критерий	$P$ критерий	$K_{оц}$
Л	112	66	63	77
З	80	64	52	64
Б	88	57	52	64
Х	70	55	31	49
К	52	55	36	47
С	51	57	34	46
М	19	58	21	28
Р	20	36	20	24
Т	12	46	16	21
Н	8	55	8	15
Г	7	41	9	14
П	1	47	5	7
Ч	1	12	7	5

В результате получено, что узлы «Л», «З» и «Б» относятся ко 2 классу, узлы «Х», «К» и «С» – к 3 классу, узлы «М», «Р» и «Т» – 4 класса, а узлы «Н», «Г», «П» и «Ч» – 5 класса.

Возникает справедливый вопрос о достаточности количества исследуемых структур железнодорожных узлов. Характер распределения случайных величин в потоке можно определить при наличии достаточного объема статистических наблюдений. Достоверность характеристик зависит от количества наблюдений. Количество интервалов группирования наблюдений  $I_{gp}$ , а также размер (ширина) интервала  $d$  в зависимости от размеров выборки можно определить по формуле Г. Стреджерса [8]:  $I_{gp} = 1 + 3,322 \lg n$ , откуда следует  $d = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{I_{gp}}$ , где  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  – размах вариации (наибольшее и наименьшее значение случайной величины);  $n$  – количество статистических наблюдений;  $I_{gp}$  – количество интервалов группирования наблюдений.

Решим уравнение относительно  $n$  для определения количества вариантов исследуемых узлов при отнесении к возможным пяти классам. Если  $X_{\max}=5$ ,  $X_{\min}=0$  и шаг  $d=1$ , получим, что объем выборки должен быть не менее  $n=10^{1,24146}=17$  вариантов схем узлов. Общее количество статистических данных вариантов схем узлов для отнесения к пяти классам составит 85 вариантов.

В настоящее время исследования вопросов классификации железнодорожных узлов продолжают в рамках диссертационной работы, формируется электронная база данных схем основных узлов и их показателей с последующим созданием автоматизированного научно-методического комплекса оценки структур железнодорожных узлов.

### **Заключение**

Транспортно-технологические схемы железнодорожных узлов являются сложными, многофакторными и малоисследованными. Предложенная научная методика оценки показателей железнодорожных узлов позволит не только классифицировать разнородные узловые структуры, но выявлять «узкие» места и решать вопросы о насыщении узловой инфраструктуры транспортными связями с возможным увеличением пропускаемых поездопотоков, определять условия рационального развития узлов с обоснованием вопроса его достаточности.

### **Список литературы**

1. Бродецкий Г.Л. Системный анализ в логистике: выбор в условиях неопределенности: учебник / Г.Л. Бродецкий – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с.
2. Иванов-Толмачев И.А. Развитие железнодорожных узлов: Учебное пособие для студентов специальности 190701./ Иванов-Толмачев И.А., Сидраков А.А., Гончаров Д.В. – М.: МИИТ, 2011. – 66 с.

3. История развития железнодорожного транспорта России. Т. 1: 1836–1917 гг. – СПб., 1994. – 336 с.
4. Поттгофф Г. Учение о транспортных потоках. пер. с нем. - М.: «Транспорт», 1975. - 344 с.
5. Правдин Н.В., Вакуленко С.П., Головнич А.К. и др. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы): учебник для вузов ж.-д. транспорта / под ред. Н.В. Правдина и С.П. Вакуленко. –ФГБОУ УМЦ ЖДТ, Москва, 2012. – 1086 с.
6. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 г. № 877-р[Электронный ресурс]. - [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_92060/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_92060/)(дата обращения 15.12.2014).
7. Чернобельский А.Б. Оценка уровня организации производственно-транспортных систем [текст] / А.Б. Чернобельский, В.Н. Дегтяренко// Сб. науч. тр. РИСИ, №6, 1979. – с. 11-15.
8. Числов О.Н. Комплексные методы рационального размещения элементов транспортно-технологических систем в железнодорожных узлах: монография // О.Н. Числов; Рост.гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2009. – 294 с.
9. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова. – М.: Иностран. Лит., 1963. – 832 с.

**Рецензенты:**

Чернов А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладной математики и вычислительной техники» Ростовского государственного строительного университета, г. Ростов-на-Дону;

Зубков В.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Ростовского государственного университета путей сообщения», г. Ростов-на-Дону.