

**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Ростовский государственный университет путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВО РГУПС)**

*На правах рукописи*

**ХАН Владимир Васильевич**

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ**  
**СТРУКТУР И ОРГАНИЗАЦИИ**  
**ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**  
**ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ**

Специальность 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические  
системы страны, ее регионов и городов,  
организация производства на транспорте

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
доцент Числов Олег Николаевич

Ростов-на-Дону

2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                                                  | 5  |
| Глава 1. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ УЗЕЛ КАК ОСНОВА РЕГИОНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ.....                                                                   | 15 |
| 1.1. История развития и практический опыт формирования железнодорожных узлов Российской Федерации .....                                                                         | 15 |
| 1.2. Функции и структуры основных железнодорожных узлов Северо-Кавказской железной дороги.....                                                                                  | 22 |
| 1.3. Существующая система оценки классификационных признаков узловых структур .....                                                                                             | 38 |
| 1.4. Выводы по главе.....                                                                                                                                                       | 42 |
| Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУР И ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ.....                                                                           | 43 |
| 2.1. Анализ отечественного и зарубежного опыта в области проектирования, эксплуатации и перспективного развития узловых железнодорожных транспортно-технологических систем..... | 45 |
| 2.2. Методы исследования путевого развития и транспортных процессов железнодорожных узлов.....                                                                                  | 53 |
| 2.3. Выводы по главе.....                                                                                                                                                       | 63 |
| Глава 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СТРУКТУР И УРОВНЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ УЗЛОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....                                                             | 64 |
| 3.1. Формирование пространственно-планировочной модели узла .....                                                                                                               | 64 |
| 3.2. Энтропийный подход к оценке уровня организации транспортно-технологических процессов узлов.....                                                                            | 71 |
| 3.3. Графоаналитическая оценка устойчивости узловых структур .....                                                                                                              | 78 |

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4. Система модифицированных показателей оценки степени организации узлового транспортного производства.....                                                    | 90  |
| 3.5. Выводы по главе .....                                                                                                                                       | 94  |
| Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ .....                                                                          | 95  |
| 4.1. Параметризация узловых транспортно-технологических процессов .....                                                                                          | 95  |
| 4.2. Разработка комплексного динамического критерия оценки показателей узловой структуры .....                                                                   | 99  |
| 4.3. Перспективная системная классификация узловых структур.....                                                                                                 | 104 |
| 4.4. Программный научно-методический комплекс оценки структур железнодорожных узлов .....                                                                        | 108 |
| 4.4.1. Апробация метода комплексной оценки узловой структуры... ..                                                                                               | 112 |
| 4.5. Выводы по главе.....                                                                                                                                        | 118 |
| Глава 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР И УРОВНЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ ..... | 119 |
| 5.1. Перспективы регионального транспортного и социально-экономического развития СКЭР .....                                                                      | 119 |
| 5.1.1. Стратегические программы развития узловой инфраструктуры.....                                                                                             | 131 |
| 5.2. Экономическая привлекательность регионального транспортного развития .....                                                                                  | 133 |
| 5.2.1. Экономическая оценка увеличения пропускных способностей узлов .....                                                                                       | 136 |
| 5.2.2. Экономическая оценка устранения ограничения пропускной способности узловой инфраструктуры.....                                                            | 141 |
| 5.3. Выводы по главе.....                                                                                                                                        | 145 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                                                                 | 146 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ..... | 149 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ.....                | 164 |
| Приложение 1 .....             | 165 |
| Приложение 2 .....             | 195 |
| Приложение 3 .....             | 205 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Железнодорожный транспорт является источником и предпосылкой успехов экономического развития страны. Известно, что важнейшими его звеньями в организации и пропуске поездопотоков являются железнодорожные станции и узлы – высшая ступень инфраструктурной и транспортной интеграции.

На долю железнодорожного транспорта приходится 5,36 % перевезенных пассажиров (1025 млн чел) или 22,76 % пассажирооборота (120,6 млрд пас-км); 17,53 % перевезенных грузов (1329 млн т) или 45,27 % грузооборота (2306 млрд т-км) от общего объема транспортной работы всех видов транспорта Российской Федерации. На рис. 1–4 приведены структуры транспортной работы основных видов транспорта за период с 2000 г. по 2015 г.

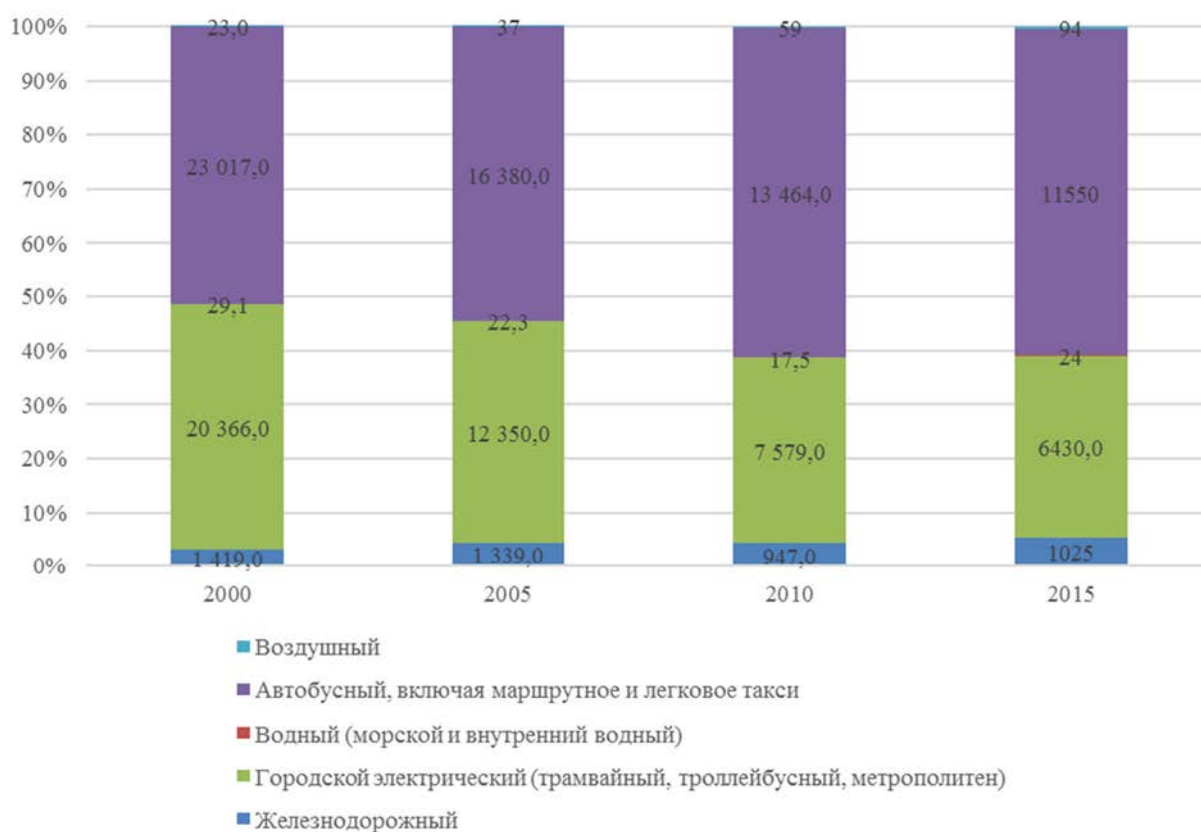


Рисунок 1 – Структура перевезенных пассажиров по видам транспорта Российской Федерации, млн чел

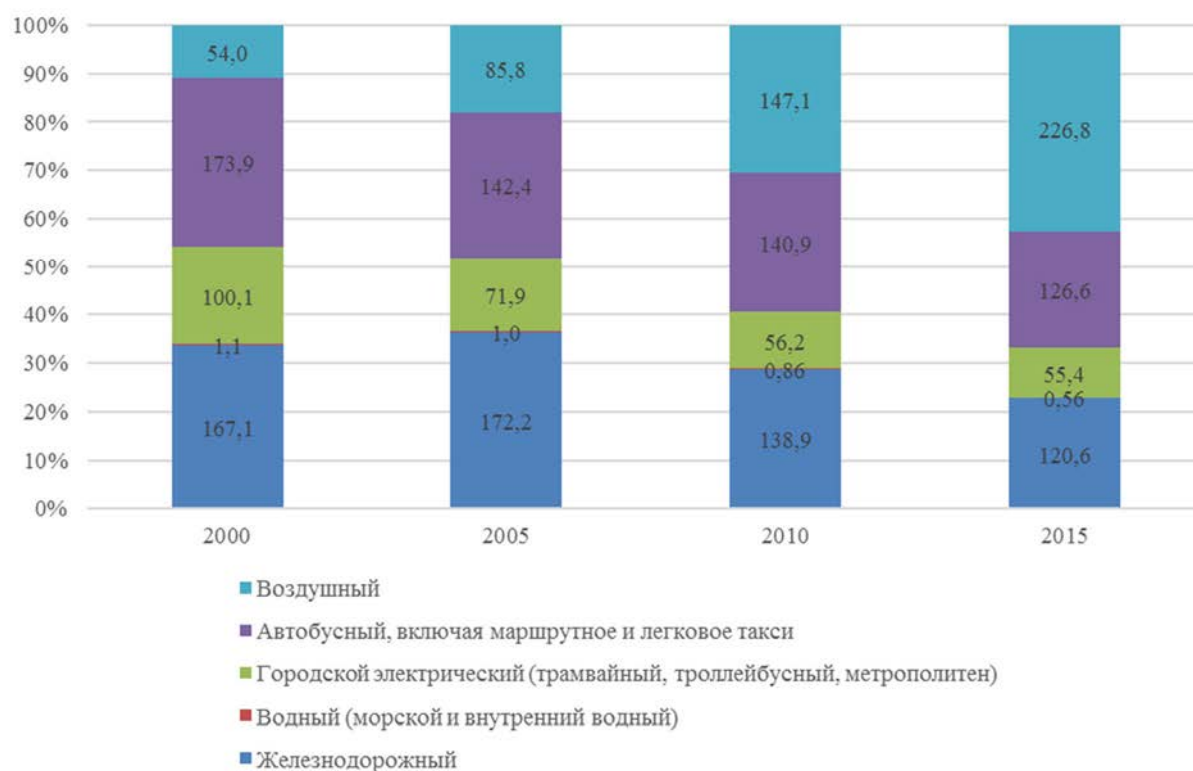


Рисунок 2 – Структура пассажирооборота по видам транспорта Российской Федерации, млрд пас-км

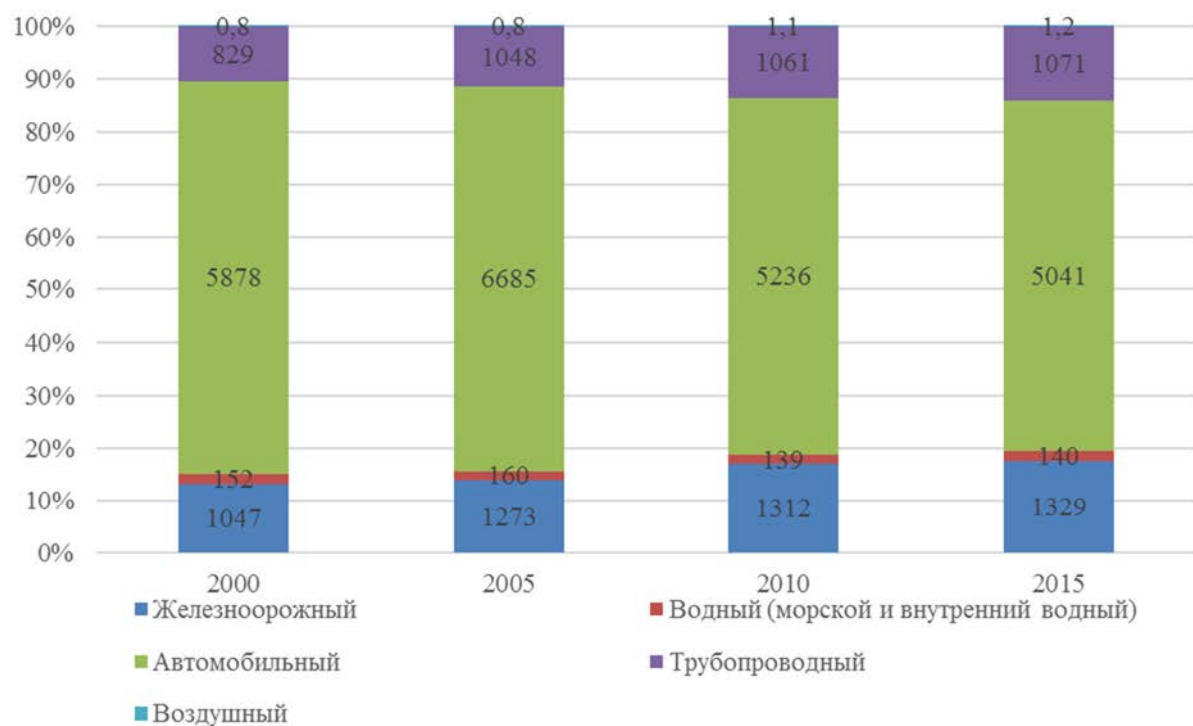


Рисунок 3 – Структура перевезенных грузов по видам транспорта Российской Федерации, млн т

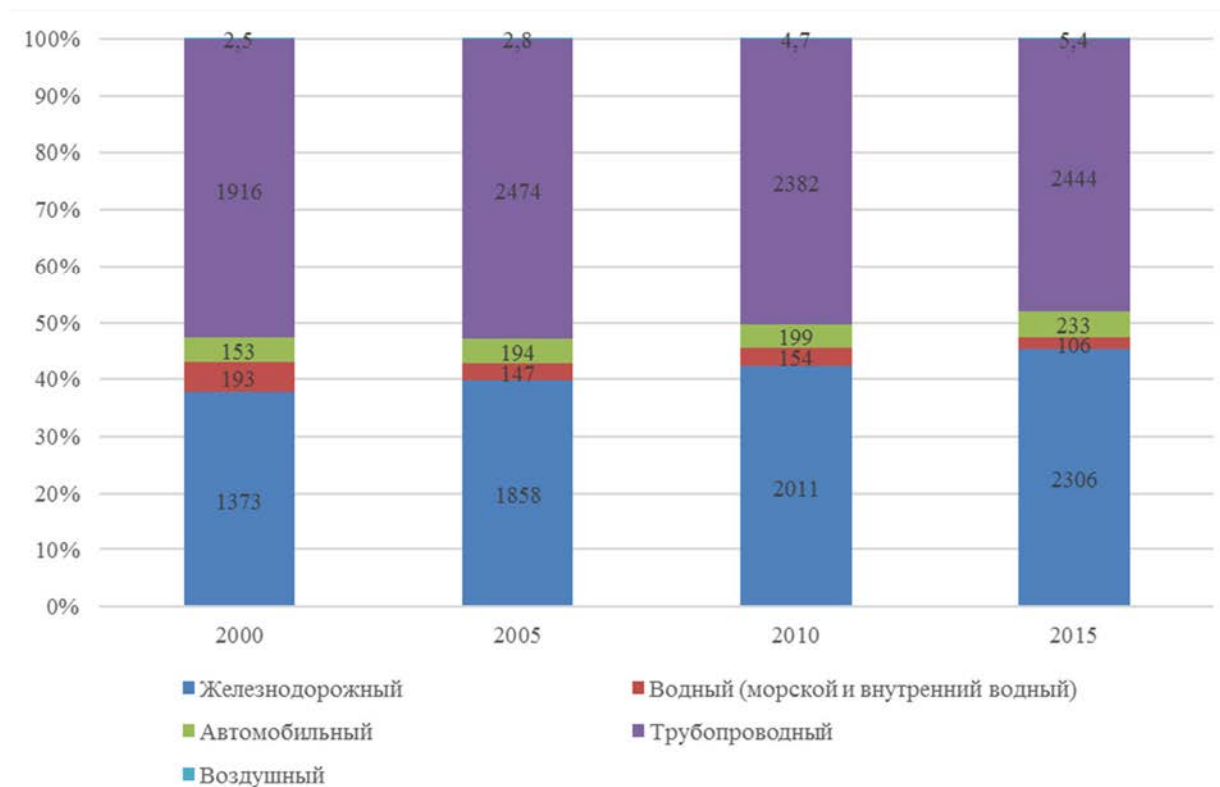


Рисунок 4 – Структура грузооборота по видам транспорта Российской Федерации, млрд т-км

Началом объединения железнодорожных узлов с передачей управления ими на одну дорогу и концентрацией работы на более развитых станциях в том виде, как они эксплуатируются и в настоящее время, можно считать 1923 г. К 1927 г. было объединено около 70 узлов. Это позволило при сравнительно небольших затратах упорядочить работу узлов, повысить перерабатывающую способность, ускорить формирование поездов, уменьшить простой вагонов и сократить эксплуатационные расходы. По завершении поистине титанического труда по восстановлению железных дорог России в послевоенный период дальнейшее развитие станций и узлов связано с электрификацией линий, увеличением пропускной способности, расширением инфраструктуры, улучшением взаимодействия с портами, внедрением логистических технологий.

Особое место в производственно-транспортной структуре России занимает Северо-Кавказский экономический регион, на территории которого

сконцентрированы различные виды производств, многоотраслевое сельскохозяйственное производство, курортно-рекреационный комплекс. Благодаря расположению между тремя морями (Черным, Азовским, Каспийским) по территории Северного Кавказа через железнодорожные узлы проходят важнейшие транспортные коридоры мультимодальных перевозок России.

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.

Известно, что железнодорожным узлом называется пункт пересечения или примыкания нескольких линий, объединяющих ряд связанных соединительными ходами станций и отдельных пунктов, работающих по единой технологии. В отечественной транспортной науке принята классификация железнодорожных узлов по характеру эксплуатационной работы, географическому расположению, численности населения, характеру производительных сил, схеме размещения основных устройств (геометрическому очертанию) и системе управления [34, 36, 25, 86, 121].

Однако в настоящее время имеет место объединение в железнодорожных узлах специализированных по характеру работы станций, не наследующих признаков целостной системы и имеющих недостатки: малоэффективные технологические связи отдельных узловых станций и отсутствие обходов узлов для пропуска транзитных потоков. Принятое деление узлов по геометрическому размещению станций 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; возможность автоматизации систем управления; влияние на окружающую природную среду и т.п. Кроме указан-

ных классификационных признаков, часто возникают оборонный, архитектурный и социальный эффект влияния резервных возможностей узла. Следует также отметить то, что на современном этапе расчета и проектирования элементов транспортных систем еще используются эмпирические подходы. Это вызвано следующими факторами: дефицитом времени или экстремальными условиями решения задачи; возможной социально-политической неопределенностью среды функционирования проектируемых транспортно-технологических систем узла; отсутствием достаточно достоверных статистических данных, характеризующих проектный объект; необходимостью долгосрочного прогнозирования размещения новых объектов отраслей промышленности, подверженных сильному влиянию научно-технического прогресса и открытиям в фундаментальных науках.

Набор столь важных факторов актуализирует необходимость расширения методологического инструментария оценки структур и уровней организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов с уточнением классификационных признаков.

**Степень разработанности проблемы.** Российский опыт разработки генеральных схем железнодорожных узлов был накоплен в результате огромной работы, проделанной научно-исследовательскими и проектными институтами (АО «ИЭРТ», проектные институты Министерства транспорта и ОАО «РЖД»), вузами России совместно с крупнейшими специалистами – учеными-транспортниками. Большой вклад в разработку теории и практики проектирования железнодорожных и транспортных узлов, развития и оптимизации параметров узловых транспортно-технологических процессов внесли такие выдающиеся ученые, как академик В.Н. Образцов, профессора С.П. Бузанов, А.С. Герасимов, С.Е. Гибшман, П.Ф. Дубинский, С.В. Земблинов, И.И. Костин, В.Д. Никитин, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков, Ф.И. Шаульский и многие другие. Работы в данных направлениях продолжены в трудах известных ученых и инженеров: В.И. Апатцева, В.В. Багиновой, А.С. Балалаева, С.С. Берлянда, С.П. Вакуленко, А.А. Волнина, А.С. Гельмана, В.Н. Дегтярен-

ко, А.Т. Дерибаса, Б.Б. Жардемова, В.Н. Зубкова, Ю.И. Ефименко, В.П. Клепикова, К.П. Костенецкого, П.В. Куренкова, П.А. Козлова, Б.А. Лёвина, А.Я. Локтева, Э.А. Мамаева, В.Н. Морозова, Н.В. Правдина, В.А. Персианова, Ф.С. Пехтерева, А.Н. Рахмангулова, В.А. Шарова, М.И. Шмулевича, О.Н. Числова и др.

На основе их исследований заложены теоретические основы и определены перспективы современного проектирования железнодорожных и транспортных узлов, эффективность организации и управления транспортно-технологическими процессами в транспортных системах России.

Тем не менее структуры и уровни организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов исследованы недостаточно, разработанная еще в 50–60 годах прошлого века системная классификация узлов так и не претерпела изменений с развитием информационно-логистических и транспортных технологий и учетом их влияния на схемные решения узлов. При проектировании и последующем развитии схемных решений железнодорожных и транспортных узлов возникают вопросы целесообразности насыщения транспортными связями и устойчивости узла к дестабилизирующим воздействиям техногенных и природных факторов, а также организационного, технико-технологического, информационного, экономического, правового взаимодействия и степени обороноспособности. Таким образом, требуется новый подход к оценке структур и уровней организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов на основе модифицированных критериев оценки и новой системной классификации.

**Целью диссертационной работы** является развитие методов определения рациональных структур, уровней организации узловых транспортно-технологических процессов и разработка новой классификации железнодорожных узлов.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие **задачи**:

– Выполнить анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования железнодорожных и транспортных узлов.

– Исследовать схемы и существующие показатели оценки уровней организации транспортной работы узловых структур.

– Разработать критерии оценки транспортной работы узла.

– Исследовать устойчивость узловых структур.

– Разработать метод комплексной динамической оценки рейтинга структур и размеров транспортной работы железнодорожных узлов на основе критерия произведений, критерия Гурвица и критерия Гермейера.

– Сформировать системную классификацию узлов и программный комплекс их оценки.

**Объектом исследования** являются схемы железнодорожных узлов и узловые транспортно-технологические процессы в рамках единой системы организации грузовых и пассажирских перевозок.

**Предмет исследования** – теоретико-методологические подходы к систематизации и оценке структур железнодорожных узлов и узловых транспортно-технологических.

Диссертация выполнена в рамках пунктов п.1 «Транспортные системы и сети страны, их структура, технологии работы. Оптимальная структура подвижного состава», п.5 «Организация и технология транспортного производства. Управление транспортным производством. Оптимизация размещения транспортных предприятий и производств» паспорта научных специальностей ВАК 05.22.01 – «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте».

**Теоретико-методологической основой исследования** явились научные работы ученых в области проектирования инфраструктуры железнодорожного транспорта, экономико-математического программирования, теории вероятностей и математической статистики, теории массового обслуживания, теории систем, теории графов, теории

надежности, сетевого планирования, а также законодательные, нормативные и программные документы РФ по вопросам государственной транспортной политики, отчетные и статистические данные Министерства транспорта России, ОАО «РЖД», Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», публикации ученых и специалистов железнодорожного транспорта, результаты авторских исследований.

**Положения, выносимые на защиту:**

- Параметры устойчивости узловых структур на основе энтропийного и графоаналитического подходов.
- Система критериев оценки организации транспортной работы узлов.
- Математическая модель оценки узловых структур на основе динамического коэффициента балльного рейтинга.
- Система классификации узловых структур на основе пяти классов: малые, средние, крупные (2-й тип), крупные (1-й тип), крупнейшие узлы.
- Метод оценки эффективности узловых структур.

**Научная новизна диссертационной работы** заключается в разработке и развитии практических рекомендаций по совершенствованию оценки структур и транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов для повышения качества компоновочных решений и надежности работы узловой инфраструктуры в условиях неравномерности грузопотоков. В диссертации:

- Развита методика исследований в области оценки структур железнодорожных узлов, учитывающие транспортно-технологические процессы и потенциал инфраструктуры.
- Предложены модели и алгоритмы определения лимитирующих участков железнодорожных узлов, позволяющие принимать стратегические решения по развитию узловой инфраструктуры.
- Сформирован метод оценки структур железнодорожных узлов и разработана новая системная классификация узлов по уровням транспортной работы.

– Разработаны алгоритм и программный комплекс оценки уровня развития узловой инфраструктуры, транспортно-технологических процессов с учетом структурных и объемных изменений грузопотоков в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов.

**Практическая ценность** научных результатов состоит в возможности использования методологического аппарата диссертационного исследования региональными органами власти в области транспорта, дирекциями управления движением и дирекциями инфраструктуры ОАО «РЖД» при подготовке, оценке и реализации инфраструктурных проектов развития железнодорожных узлов и выбора рациональных форм организации узловых транспортно-технологических процессов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационного исследования докладывались на международных научно-практических конференциях: «Транспорт – 2013», «Транспорт – 2014», «Транспорт – 2015», «Транспорт – 2016» (Ростов-на-Дону, 2013, 2014, 2015, 2016 гг.); «Наука и современность: вызовы XXI века» (Киев, 2014 г.); «Современные аспекты транспортной логистики» (Хабаровск, 2014 г.); «Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса Юга России» (Ростов-на-Дону, 2014 г.); «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (Санкт-Петербург, 2015 г.); «*EurasiaScience*» (Пенза, 2015 г.); «Транспортные системы: тенденции развития» (Москва, 2016), заседаниях кафедр «Станции и грузовая работа» ФГБОУ ВО РГУПС (г. Ростов-на-Дону), «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВО МГУПС (г. Москва), «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВО ПГУПС (г. Санкт-Петербург).

**Внедрение результатов работы.** Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе и научно-исследовательской работе ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» при разработке учебно-методических комплексов для студентов по дис-

циплине «Железнодорожные станции и узлы», а также в НИР студентов и дипломном проектировании для студентов очной и заочной формы обучения. Также результаты исследования были использованы при подготовке научно-исследовательских отчетов для Северо-Кавказской Дирекции управления движением – филиала Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД». Имеются акты внедрения результатов исследования.

**Публикации.** Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 14 научных работах общим объемом 17,79 п.л. (авторских - 7,18 п.л.), в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, и 1 монография.

**Структура и объем работы** определены целью и задачами, поставленными и решенными в ходе исследования. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 135 наименований и 3 приложений. Работа изложена на 163 страницах основного текста, содержит 40 рисунков, 31 таблицу.

# **Глава 1. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ УЗЕЛ КАК ОСНОВА РЕГИОНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

## **1.1. История развития и практический опыт формирования железнодорожных узлов Российской Федерации**

От состояния и качества работы железнодорожного транспорта зависят возможности государства выполнять такие функции, как защита национального суверенитета и безопасности страны, обеспечение потребности граждан в перевозках, создание условий для выравнивания социально-экономического развития регионов.

Доля железнодорожного транспорта в совокупном грузообороте всех видов транспорта общего пользования (исключая трубопроводный) превышает 85%, в пассажирообороте составляет более 42% [134]. В то же время использование железных дорог в России зачастую является не только целесообразным с экономической точки зрения, но и единственным возможным для осуществления перевозок грузов и пассажиров средством.

Транспортная составляющая заложена в стоимость любой продукции. Поэтому от грамотного развития транспортного комплекса России, в том числе и железнодорожного транспорта, зависит экономическая безопасность страны и устойчивость роста её промышленного производства. Формирование современной инфраструктуры обеспечит качественное транспортное и логистическое обслуживание, снижение транспортных издержек и развитие аграрной, промышленной и минерально-сырьевой отраслей.

На протяжении всей истории железнодорожного транспорта станции и узлы являлись важнейшими звеньями дорог и играли первостепенную роль в их работе. Начало строительства железных дорог в России приходится на 30-е гг. XIX в. Возникновение железных дорог общего пользования было обу-

словлено развитием промышленности, прежде всего горнодобывающей и металлургической.

Первые железнодорожные узлы в России начали формироваться в 1853 г. [44], 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 гг. 19 в. зародился Петербургский ж.-д. узел.

Московский узел начал формироваться в середине 60-х гг., 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 (рис. 1.1) [43, 94].

Дальнейшее развитие железнодорожных узлов было связано со строительством и примыканием новых линий к существующим и специализацией станций. В 1875–1902 гг. были созданы железнодорожные узлы в Воронеже, Харькове, Курске, Бресте, Барановичах и других крупных населенных пунктах.

В Петербурге в 1912—1913 гг. была построена соединительная Финляндская линия, включившей в себя мосты через Неву, Охту, Порховку и 19 путепроводов в местах пересечения дорог и улиц. К 1914 г. в результате соединения всех железнодорожных линий правого и левого берегов Невы в Петрограде был сформирован узел полукольцевого типа (рис. 1.2).

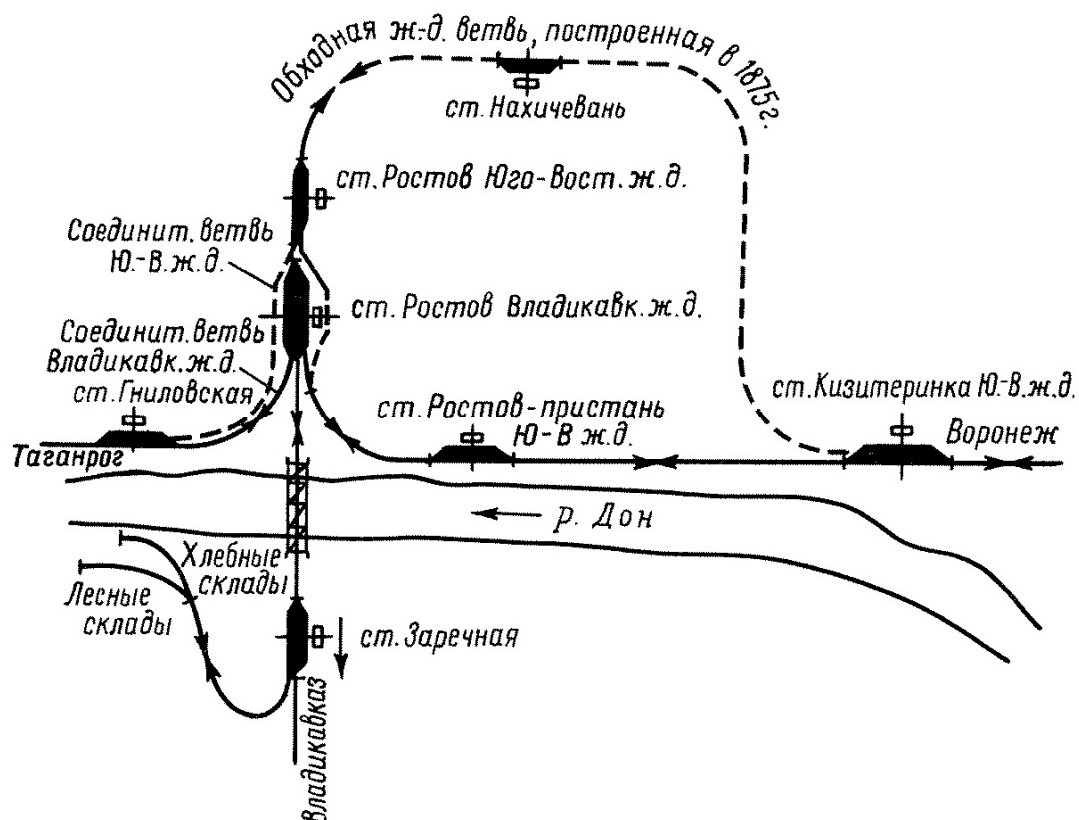


Рисунок 1.1 – Схема Ростовского железнодорожного узла (1875 г.)



Рисунок 1.2 – Схема Петроградского железнодорожного узла (1914 г.):  
 1– Николаевский вокзал; 2 – Витебский вокзал; 3 – Варшавский вокзал;  
 4 – Балтийский вокзал; 5 – Финляндский вокзал;  
 6 – Новодеревенский вокзал; 7 – вокзал Охта; 8 – Охта-Невский вокзал [25]

На юге России в Ростовском узле железнодорожные подходы со стороны трех дорог (Екатерининской – из Таганрога, Юго-Восточной – из Новочеркасска и Владикавказской – из Тихорецкой) уже были двухпутными, но разводный мост через Дон оставался однопутным и не справлялся с растущим грузопотоком. Для решения этой проблемы с 1912 по 1917 гг. был возведен новый трехпролетный и двухпутный мост с вертикально поднимающейся фермой, спроектированный профессором С. Белзецким с участием крупнейшего ученого-мостостроителя профессора Н. Белелюбского и профессора Г. Передерия. Он был первым в России мостом вертикально-подъемной системы. Подъемная часть была устроена по проекту американского инженера Гунтера. Все металлические конструкции изготавливались в России на Мальцевском заводе [95].

На рубеже XIX и XX веков и до начала Первой мировой войны в железнодорожных узлах велись работы по реконструкции пассажирских, сортировочных и грузовых станций. Строились взамен старых новые вокзалы, увеличивались длина и количество станционных путей, вводилась их специализация, развивались локомотивное и вагонное хозяйства.

Первая мировая, а затем Гражданская война и интервенция вызвали огромные разрушения на железных дорогах. Многие узлы (Брянский, Орловский, Елецкий и др.) нельзя было эксплуатировать из-за разрушенных зданий, путепроводов, разобранных путей, стрелочных переводов. В течение данного периода велись интенсивные работы по восстановлению станционных устройств. Наряду с этим продолжалось начатое ранее строительство железнодорожных линий и станций [45, 107].

С 1923 г. по инициативе В.Н. Образцова началось объединение железнодорожных узлов (Батрацкого, Смоленского и др.) с передачей управления ими на одну дорогу и концентрацией работы на более развитых станциях. Для этого в некоторых узлах были уложены дополнительные соединения, переустроены отдельные парки и горловины станций. К 1927 г. было объединено около 70 узлов. Это позволило упорядочить работу узлов, повысить пере-

рабатывающую способность, ускорить формирование поездов, уменьшить простой вагонов и сократить эксплуатационные расходы. Были выполнены работы по развитию Оршанского, Полоцкого, Псковского, Гомельского, Синарского, Тагильского, Пермского, Челябинского узлов (1933–1935 гг.).

В 1927 г. в связи с сооружением линии Петропавловск – Кокчетав – Курорт Боровое построены новые станции и сформирован Петропавловский железнодорожный узел.

Для вывоза лесных грузов из северных районов в центральные и улучшения транспортных связей Урала с Центром сооружена железнодорожная линия Нижний Новгород (Горький) – Котельнич (1927 г.) и осуществлено развитие Нижегородского узла (1927–1930 гг.). Создание промышленных районов Кузбасса и Караганды потребовало сооружения новых линий и развития промышленных железнодорожных узлов.

В 1927–1928 гг. в Московском узле выполнены работы по усилению устройств для пассажирского движения, создана станция Москва–Техническая–Курская, произведена реконструкция станций Москва–Северная и Москва–Белорусская.

В 1927–1930 гг. строилась Туркестано-Сибирская магистраль (Турк-сиб), соединившая Среднюю Азию с Сибирью. Велись работы по созданию новой сортировочной станции Арысь. В 1930 г. сооружены линии Золотая Сопка – Орск и Карталы – Магнитогорск с железнодорожными узлами Карталы и Магнитогорск.

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.).

В 1929–1930 гг. в Ленинградском узле осуществлено переустройство Ириновской узкоколейной линии с перешивкой ее на нормальную колею. В 1930-х годах на этой линии ввели участки; Борисова Грива – Ладожское Озеро, Ржевка – Пискаревка, Шлиссельбург – Невская Дубровка. К 1940 г.

построена линия Охта – Горы, через год – соединительная ветвь Ручьи – Парголово.

В Свердловском узле (1931–1933 гг.) были устроены путепроводные развязки на подходах со стороны Казани и Перми, Челябинска и Омска, переустроена станция Свердловск-Пассажирский. В Бакинском узле велось строительство нового вокзала.

В течение предвоенных пятилеток получили значительное развитие станции и узлы в других регионах страны. Реконструкции подверглись Днепропетровский, Сталинградский, Брянский, Ярославский, Ташкентский, Саратовский, Куйбышевский узлы. Переустройство железнодорожных узлов производилось комплексно в увязке с автомобильным, водным и промышленным транспортом и планировкой городов.

Значительное развитие получил крупнейший на сети Московский узел. Для его разгрузки от транзитного потока в предвоенные годы велось строительство в обход Москвы большой окружной дороги длиной 540 км. Восточная половина ее (полукольцо Александров – Воскресенск – Жилево) была построена до 1941 г., а западное полукольцо – во время Великой Отечественной войны (1943 г.).

В Московском узле были построены механизированные сортировочные горки на станциях Перово, Люблино, Лосиноостровская, что позволило увеличить переработку вагонов в два-три раза.

В годы Великой Отечественной войны велись работы по усилению станций и узлов, связанных со строительством железнодорожных линий: Северо-Печорской (первая очередь – 1942 г.), Акмолинск – Карталы (1943 г.), Казань – Иловля (1944 г.), Кандагач – Гурьев – Орск (1942–1944 гг.), а также по увеличению пропускной способности Челябинского, Новосибирского, Пензенского, Вологодского и других узлов в целях обеспечения перевозок для фронта и тыла [92].

В послевоенные годы развитие железнодорожных станций и узлов проходило по новой технической основе: механизировались наиболее трудо-

емкие работы, внедрялась электрическая централизация стрелок и сигналов, совершенствовались схемы путевого развития.

В настоящее время, в России насчитывается более 500 узлов.

После кризисного этапа 90-х гг. XX в. в жизни страны в XXI в. произошёл постепенный рост объемов перевозок. Согласно «Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 г.», основными тенденциями в развитии железнодорожной инфраструктуры стали удлинение путей для повышения веса и длины поездов, увеличение длины участков обращения локомотивов с сокращением числа технических станций, реконструкция станций для повышения скорости движения пассажирских поездов, строительство обходов узлов для увеличения пропускных способностей [100].

## **1.2. Функции и структуры основных железнодорожных узлов Северо-Кавказской железной дороги**

Северо-Кавказский экономический регион (СКЭР) РФ занимает особое место в производственно-транспортной структуре России и является уникальным административно-территориальным образованием. Ведущими отраслями промышленной специализации являются: газовая, нефтяная, каменноугольная промышленность, цветная металлургия, машиностроение, цементная и пищевая промышленность. Значительный удельный вес в Российской Федерации регион занимает по производству зерна, сахарной свеклы, семян подсолнечника, овощей, плодов, винограда и продуктов животноводств. В то же время регион является основным рекреационным районом России. Большую роль играет курортное хозяйство, выполняющее оздоровительные функции общероссийского значения [16, 47, 66].

Полигон Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД) – филиала ОАО РЖД – расположен на территории СКЭР и обслуживает 11 субъектов Российской Федерации, в том числе полностью Северо-Кавказский федеральный округ (Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Северная Осетия-Алания, Чеченская Республика, Ставропольский край) и частично Южный федеральный округ (Республика Адыгея, Республика Калмыкия, Краснодарский край, Ростовская область) (рис. 1.3).

Дорога граничит девятью стыковыми пунктами с соседними железными дорогами: с Юго-Восточной по станции Чертково; с Приволжской по станциям Морозовская, Котельниково, Олейниково; с Донецкой (Украина) по стыкам Успенская и Красная Могила; с Приднепровской через паромную переправу Кавказ – Республика Крым; с Азербайджанской (Азербайджан) по стыку Самур.

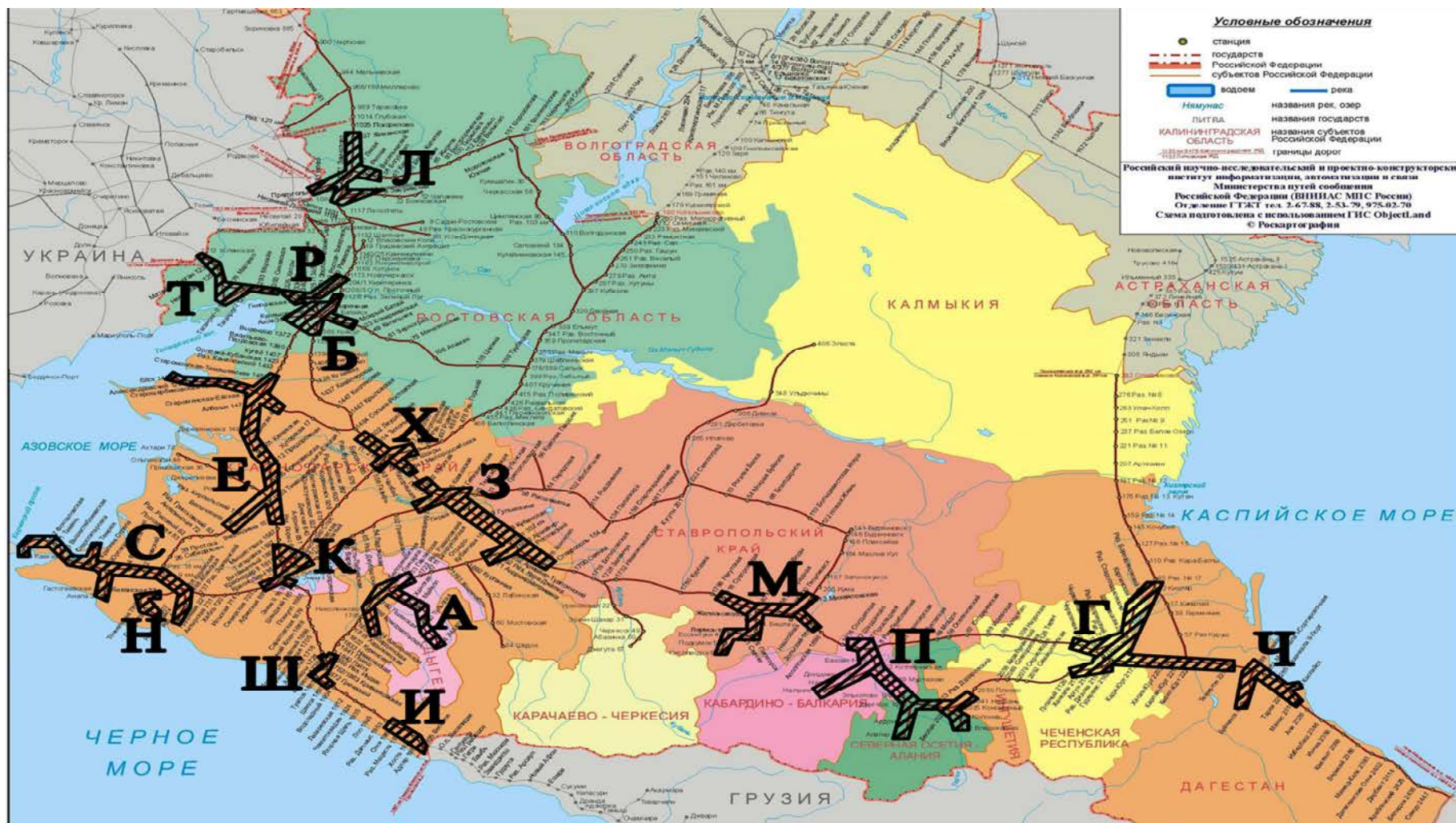


Рисунок 1.3 – Схема транспортных областей узлового железнодорожного обслуживания на полигоне СКЖД – филиал ОАО «РЖД» [102]

В состав семнадцати узлов Северо-Кавказской железной дороги входят более 200 станций, в том числе: 4 сортировочных (Батайск, Краснодар-Сортировочный, Лихая, Тихорецкая); 20 участковых; 53 грузовых; 116 промежуточных, 13 станций являются припортовыми [104].

Основными грузами отправления на дороге являются строительные материалы, флюсы, комбикорма, руды цветных металлов, нефтяные грузы, каменный уголь, зерно, цемент, химические удобрения, черные металлы. Среди грузов прибытия преобладают нефтяные грузы, строительные материалы, черные металлы, каменный уголь, зерно, продукция обрабатывающих отраслей (в том числе машиностроения), химические удобрения, цемент, лесные грузы.

Северо-Кавказская железная дорога – это технически оснащенная магистраль, у которой электрифицированы все основные направления, с общей длиной всех путей 6,35 тыс. км, что составляет примерно 7 % сети. СКЖД обслуживает территорию в 350 тысяч кв. км с населением свыше 17 миллионов человек. Наиболее развита сеть железных дорог в Краснодарском (2135,6 км) и Ставропольском краях (921,8 км), Ростовской области (1841,1 км), где дорога обслуживает восточное крыло Донбасса с развитой угольной промышленностью и машиностроением [37, 87, 103] (рис. 1.4). В Ставропольском крае высокая плотность железнодорожной сети (139 км на 10000 кв. км) обусловлена как развитой промышленностью, так и большой плотностью населения. На территории Краснодарского края дорога взаимодействует с морскими портами и речным транспортом. Данные три субъекта также лидируют и по объему перевозок в регионе. Следует отметить, что за последние 10 лет в СКЭР произошло двукратное снижение объема перевозок автотранспортом, при этом железнодорожный транспорт сохранил свои позиции (рис. 1.5).

За 2015 г. Северо-Кавказской железной дорогой было перевезено грузов - 160,3 млн. т; 16,4 млн. пассажиров в дальнем сообщении; 29,8 млн. пассажиров в пригородном сообщении [40].

а



б

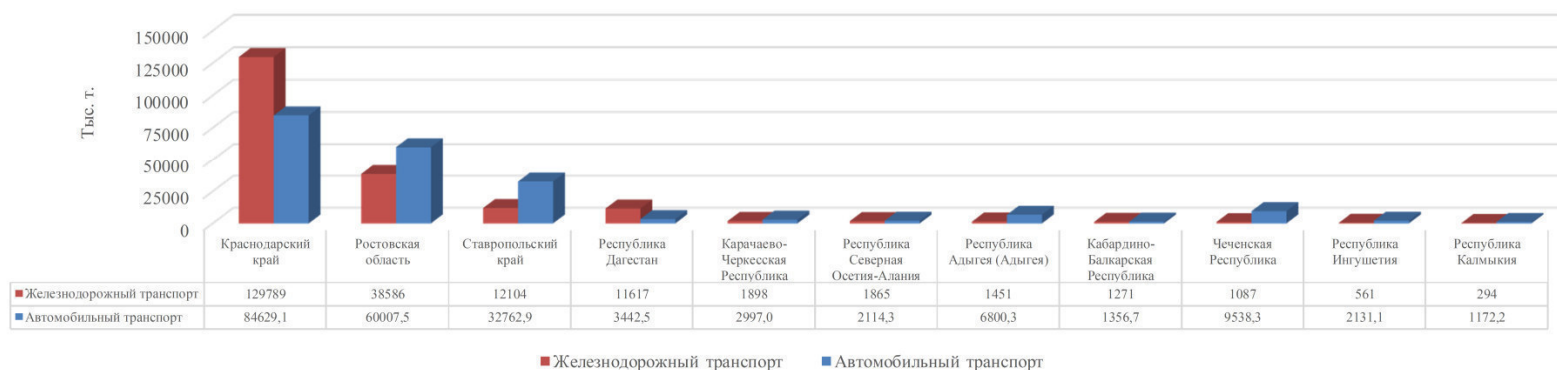


Рисунок 1.4 – Показатели транспортной инфраструктуры Северо-Кавказского экономического региона:

а – протяженность транспортной инфраструктуры СКЭР; б – плотность железнодорожной инфраструктуры СКЭР

а

Объем перевезенных грузов СКЭР, тыс.т.



б

Объем перевезенных грузов СКЭР, тыс.т.

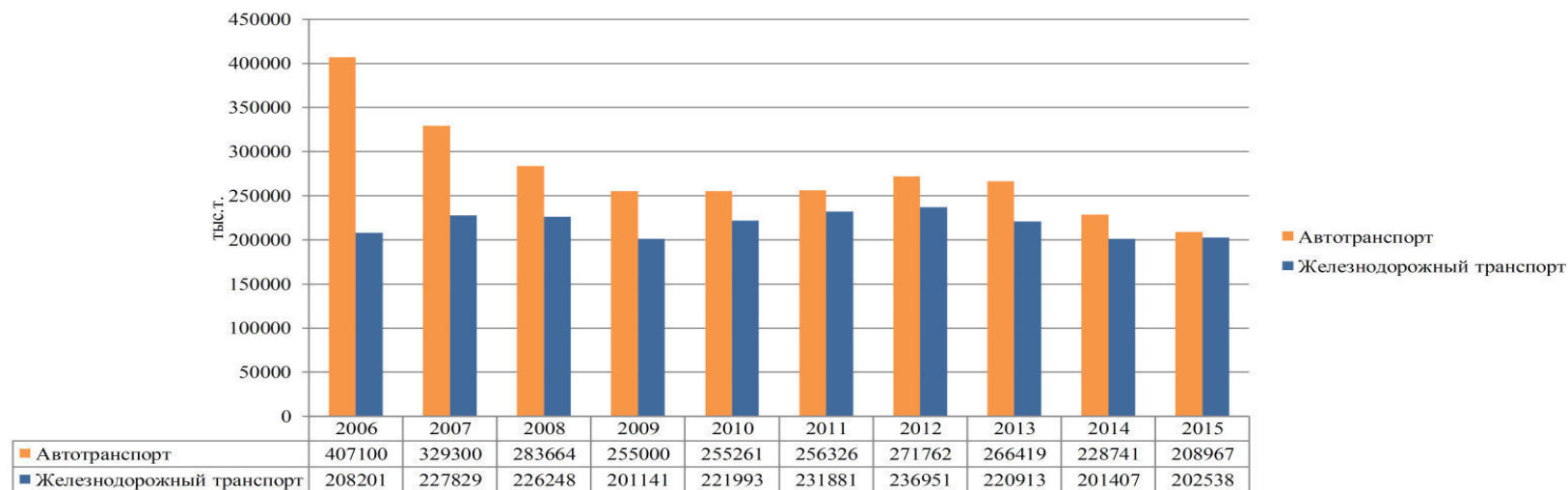


Рисунок 1.5 – Показатели транспортной инфраструктуры Северо-Кавказского экономического региона:  
а – объем перевезенных грузов по субъектам СКЭР; б – объем перевезенных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом СКЭР

Для характеристики степени насыщенности путевой инфраструктуры дороги узлами введем коэффициент  $k_{\text{узн}} = \sum L_{\text{узн}} / \sum L_{\text{ж.д.}}$ , где  $\sum L_{\text{узн}}$  – общая протяженность главного хода в пределах всех ж.-д. узлов дороги,  $\sum L_{\text{ж.д.}}$  – протяженность всех путей дороги.

Например, для СКЖД  $k_{\text{узн}} = 2318/6350 = 0,37$ . Примерно такими же будут значения коэффициента  $k_{\text{узн}}$  железных дорог в Центрально-Европейской части страны с высокой плотностью инфраструктуры.

В диссертационной работе исследованы 17 основных железнодорожных узлов, обслуживающих 9 субъектов СКЭР (табл. 1.2): Ростовский («Р»), Батайский («Б»), Таганрогский («Т»), Лиховской («Л»), Минераловодский («М»), Прохладненский («П»), Гудермесский («Г»), Махачкалинский («Ч»), Краснодарский («К»), Кавказский («З»), Тихорецкий («Х»), Новороссийский («Н»), Крымский («С»), Туапсинский («Ш»), Белореченский («А»), Сочинский («И»), Тимашевский («Е»), а также характерные узлы других регионов (Московский, Вологодский «В», Череповецкий «Ц»).

Таблица 1.2 – Ведомость субъектов СКЭР обслуживаемых железнодорожными узловыми структурами

| Субъекты СКЭР                     | Узлы СКЖД |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|                                   | Р         | Б | Т | Л | М | П | Г | Ч | К | З | Х | Н | С | Ш | А | И | Е |
| Республика Дагестан               |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Республика Ингушетия              |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Кабардино-Балкарская Республика   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Республика Северная Осетия-Алания |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Чеченская Республика              |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Ставропольский край               |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Республика Адыгея                 |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Краснодарский край                |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Ростовская область                |           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

**Ростовский и Батайский узлы** (рис. 1.6–1.7, приложение 1, табл. П1), комбинированного типа с параллельными ходами, включают 10 и 7 основных железнодорожных станций, количество подходов к узлам – 5 и 6 соответ-

ственно, протяженность путей главного хода 62 км и 296 км. Станции узлов обслуживают 117 и 109 соответственно подъездных путей предприятий не общего пользования с развитым машиностроительным и автосборочным производством (заводы «Ростсельмаш», «Красный Аксай», грузовых автомобилей «РЗГА» и др.), предприятиями электровозостроения, химической, пищевой и легкой промышленностью, значительным агропромышленным и энергетическим комплексом, речным портом и аэропортом международного значения. В Ростове-на-Дону сходятся пассажирские потоки, следующие на курорты Минеральных Вод и Черноморское побережье Кавказа. Линии Ростов-на-Дону – Новороссийск и Ростов-на-Дону – Армавир – Минеральные Воды относятся к числу важнейших магистралей, осуществляющих пассажирские перевозки.

**Таганрогский узел** (прил. 1, рис. П1.3, табл. П1), тупиковый с Т-образным примыканием подхода, включает 8 основных железнодорожных станций, количество подходов к узлу – 2, протяженность путей главного хода – 104 км. Станции узла обслуживают 40 подъездных путей предприятий не общего пользования с машиностроительными заводами по производству автомобилей («ТагАЗ») и зерноуборочной техники, энергетического оборудования (завод «Красный котельщик» производит половину паровых котлов в России), черной металлургии, легкой, пищевой промышленности, а также морским портом.

**Лиховской узел** (прил. 1, рис. П1.4, табл. П1), последовательного типа с крестообразным примыканием подхода, включает 9 основных железнодорожных станций, количество подходов к узлу – 6, протяженность путей главного хода – 99 км. Станции узла обслуживают 42 подъездных пути предприятий не общего пользования с предприятиями угольной промышленности. В состав Лиховского узла входят крупнейшие углепогрузочные станции региона – Зверево, Горная, Юбилейная.

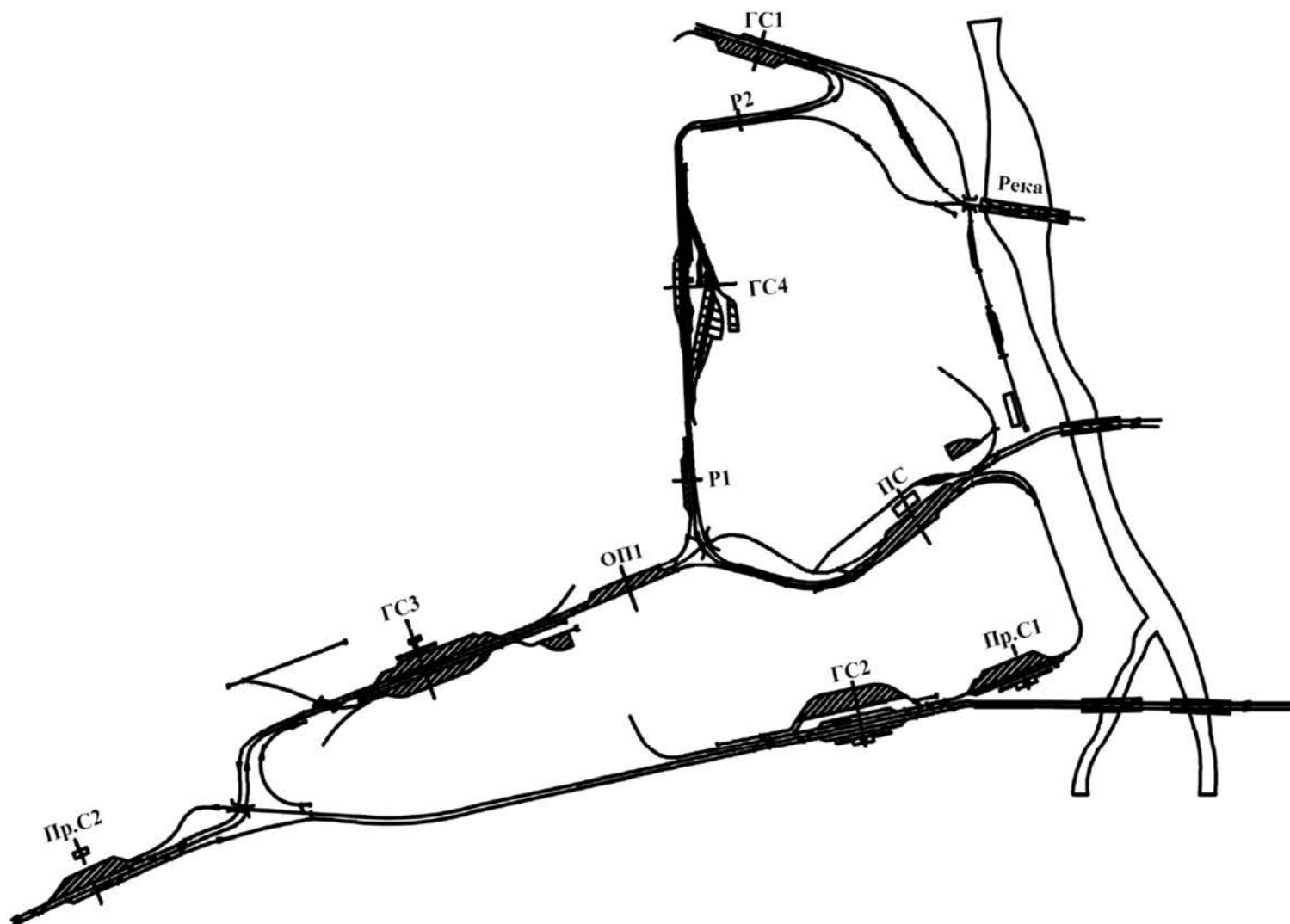


Рисунок 1.6 – Схема железнодорожного узла «Р»:  
 Пр.С – промежуточная станция, ГС – грузовая станция, ОП – остановочный пункт,  
 Р – разъезд, СС – сортировочная станция

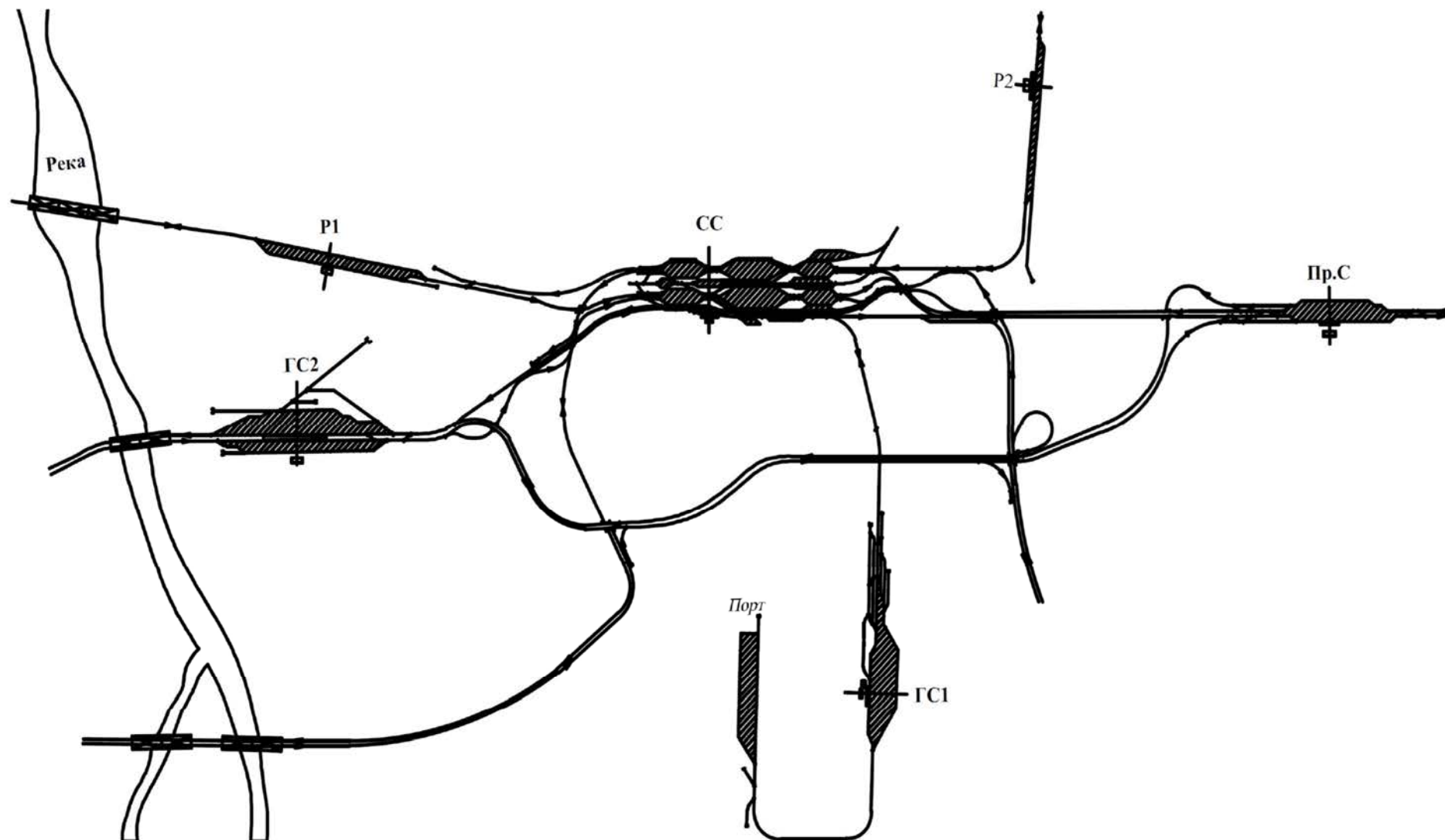


Рисунок 1.7 – Схема железнодорожного узла «Б»

На территории Краснодарского края располагаются **Краснодарский** (рис. 1.8, прил. 1, табл. П1) – радиального типа, **Кавказский** (прил. 1, рис. П1.10, табл. П1) – последовательного типа, **Тимашевский** (прил. 1, рис. П1.17, табл. П1) – комбинированного типа, **Тихорецкий** (прил. 1, рис. П1.11, табл. П1) – радиального типа, **Белореченский** (прил. 1, рис. П1.15, табл. П1) – последовательного типа и другие узлы. В крае развиты транспортная инфраструктура, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая отрасли, энергетическая (Краснодарская ГРЭС), станкостроительная, цементная, химическая, деревообрабатывающая и пищевая промышленность. Развито машиностроение (компрессоры и электроизмерительные приборы). Имеется Белореченский химкомбинат по производству фосфорных удобрений (Белореченский узел). В регионе железная дорога взаимодействует с портами Новороссийск, Туапсе, Темрюк, Кавказ, Ейск (Тимашевский узел).

**Крымский узел** (прил. 1, рис. П1.13, табл. П1), комбинированного типа с Т-образным примыканием хода в сторону Таманского полуострова на 154 км, включает 12 основных железнодорожных станций, количество подходов к узлу – 2, протяженность путей главного хода – 246 км. Станции узла обслуживают 43 подъездных путей предприятий необщего пользования с развитой пищевой (плодово-овощеконсервный комбинат) и обрабатывающей промышленностью. Узел является грузонакопительным и грузораспределительным центром для внешнеторговых экспортных перевозок южных морских глубоководных портов Азово-Черноморского бассейна.

**Новороссийский узел** (прил. 1, рис. П1.12, табл. П1), тупиковый с последовательным расположением станций, включает 4 основных железнодорожных станции, количество подходов к узлу – 1, протяженность путей главного хода – 37 км. Станции узла обслуживают 59 подъездных путей предприятий необщего пользования. Новороссийск – это одновременно важнейший морской торговый порт и центр строительно-химической индустрии. В Новороссийске работает мощный нефтеналивной терминал, отправляется множество генеральных грузов.

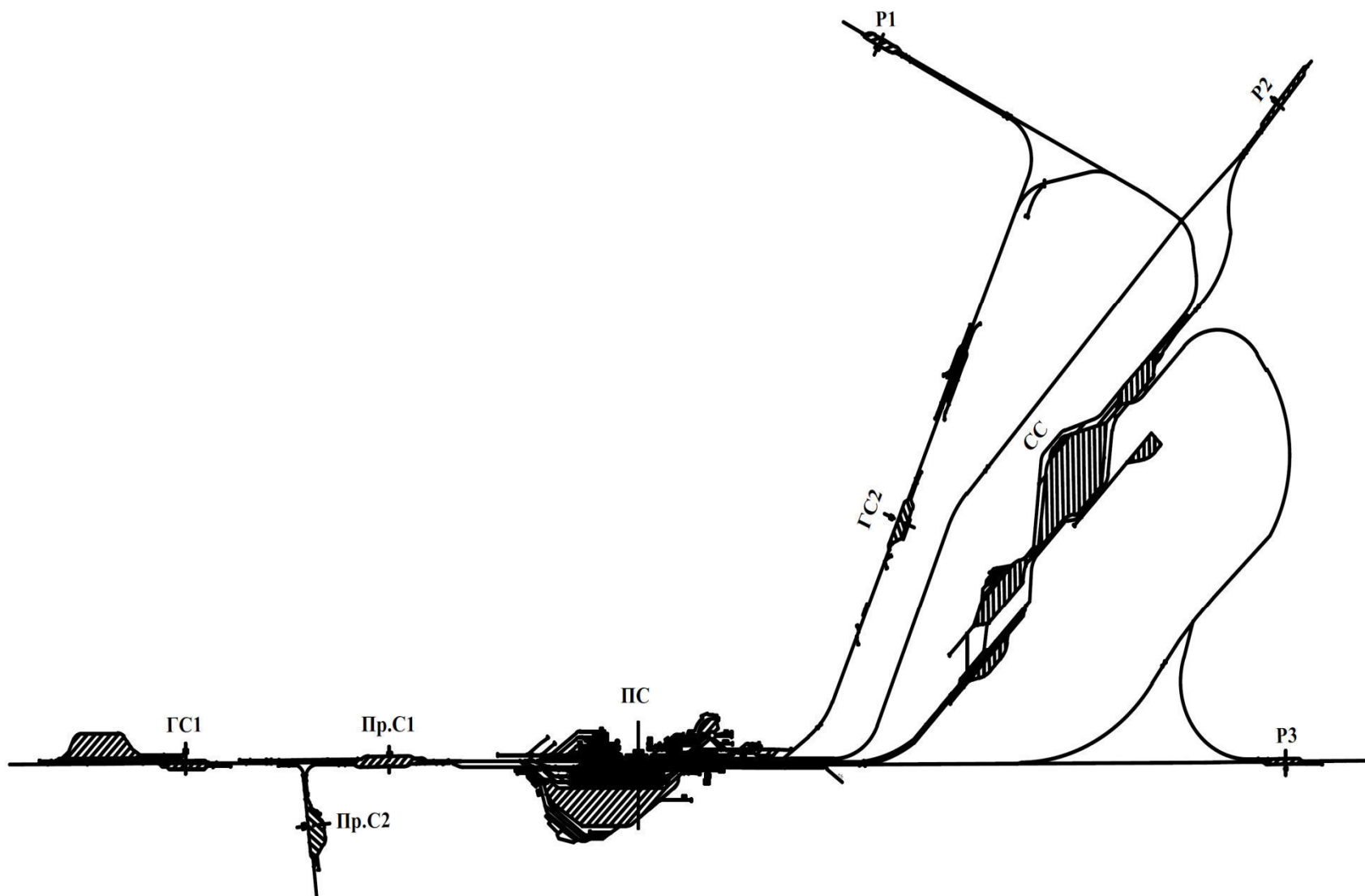


Рисунок 1.8 – Схема железнодорожного узла «К»

Новороссийские цементные заводы, работающие на местных мергелях, поставляют высококачественный цемент различных марок во многие районы страны и на экспорт.

**Туапсинский узел** (прил. 1, рис. П1.3, табл. П1), последовательного типа, включает 6 основных железнодорожных станций, количество подходов к узлу – 3, протяженность путей главного хода – 49 км. Станции узла обслуживают 17 подъездных путей предприятий необщего пользования, в число которых входит второй по величине и значимости морской порт юга страны. Главные грузы отправления – цемент, нефть, зерно.

Новороссийский, Туапсинский, Крымский, Тимашевский и Таганрогский узлы расположены на значимых транспортных коридорах и активно участвуют в экспортном транзите страны.

В **Минераловодском** (прил. 1, рис. П1.5, табл. П1), комбинированного типа, и **Сочинском узлах** (прил. 1, рис. П1.16, табл. П1), последовательного типа с Т-образным примыканием, размещены 10 и 8 соответственно основных железнодорожных станций, количество подходов к узлам – 4 и 2, протяженность путей главного хода – 151 км и 83 км соответственно. Станции узла обслуживают 42 и 9 соответственно подъездных путей предприятий необщего пользования пищевой промышленности и курортного хозяйства, выполняющих оздоровительные функции общероссийского значения.

**Прохладнинский узел** (прил. 1, рис. П1.6, табл. П1), комбинированного типа с радиальными подходами, включает 12 основных железнодорожных станций, количество подходов к узлу – 3, протяженность путей главного хода 206 км. Станции узла обслуживают 82 подъездных путей предприятий необщего пользования с производством вольфрамо-молибденового промпродукта (Тырныаузский горно-металлургический комбинат), предприятий искусственных алмазов, абразивных материалов и кабельной продукции. В узле также развита пищевая промышленность, свинцово-цинковое производство (завод «Электроцинк»), имеются горнодобывающие и обогатительные

предприятия медных руд, электросварочной аппаратуры и автотракторного оборудования, строительной и химической промышленности.

**Гудермесский узел** (прил. 1, рис. П1.3, табл. П1), радиального типа, включает 13 основных железнодорожных станций, количество подходов к узлу – 4, протяженность путей главного хода – 225 км. Станции узла обслуживают 50 подъездных путей предприятий необщего пользования с развитой нефтедобычей и нефтепереработкой, цветной металлургией и пищевой отраслями.

**Махачкалинский узел** (прил. 1, рис. П1.8, табл. П1), последовательного типа, включает 6 основных железнодорожных станций, количество подходов к узлу – 2, протяженность путей главного хода 90 км. Станции узла обслуживают 19 подъездных путей предприятий необщего пользования с крупнейшим портом Каспийского моря. В узле развит трубопроводный транспорт, энергетическая (каскада ГЭС на реке Сулак), нефтяная, машиностроительная, пищевая, стекольная, рыбная и легкая промышленность.

Схемы исследуемых узлов и их инфраструктурные показатели приведены в прил. 1 и табл. П1.

Таким образом, рассматривая только геометрические очертания узлов, можно сделать вывод, что схемные решения большинства относятся к последовательному или комбинированному типу (для крупных узлов) с радиальными или Т-образными примыканиями. Это не позволяет выделить уникальные особенности конкретной узловой структуры и особенности организации транспортной работы, что подтверждает необходимость разработки новой системной классификации узлов.

В табл. 1.3 приведены суточные размеры движения в узлах исходя из их пропускной способности согласно [103, 104].

Таблица 1.3 – Суточные размеры движения поездов в узлах

| Узел | Размеры движения поездов |              |             |       |
|------|--------------------------|--------------|-------------|-------|
|      | Грузовые                 | Пассажирские | Пригородные | Итого |
| Р    | 43                       | 82           | 27          | 152   |
| Б    | 109                      | 33           | 35          | 177   |
| Т    | 36                       | 18           | 19          | 73    |
| Л    | 133                      | 124          | 18          | 275   |
| М    | 42                       | 42           | 35          | 119   |
| П    | 25                       | 10           | 8           | 43    |
| Г    | 31                       | 9            | 5           | 45    |
| Ч    | 25                       | 9            | 4           | 38    |
| К    | 74                       | 90           | 23          | 187   |
| З    | 102                      | 65           | 17          | 184   |
| Х    | 92                       | 86           | 12          | 190   |
| Н    | 32                       | 14           | 4           | 50    |
| С    | 73                       | 34           | 4           | 111   |
| Ш    | 34                       | 76           | 14          | 124   |
| А    | 42                       | 26           | 6           | 74    |
| И    | 10                       | 37           | 15          | 62    |
| Е    | 42                       | 57           | 4           | 103   |
| В    | 154                      | 40           | 15          | 209   |
| Ц    | 37                       | 12           | 5           | 54    |

Крупнейшие ж.-д. узлы России могут быть рассмотрены на примере Московского и Санкт-Петербургского.

**Московский железнодорожный узел** (рис. 1.9), кольцевого типа с окружной дорогой, тупиковыми пассажирскими станциями и диаметром. В настоящее время в Московском узле имеется 10 подходов, 9 пассажирских, 6 сортировочных (Бекасово, Орехово-Зуево, Люблино, Перово, Лосиноостровская, Ховрино), 18 участковых и 31 грузовая станция. В числе пассажирских станций 7 тупиковых и 2 комбинированного типа. Имеются 3 специальные технические пассажирские станции: Москва-Техническая-Курская, Москва III-Ярославская и Николаевка (для составов поездов, прибывающих на станцию Москва-Пассажирская-Казанская).

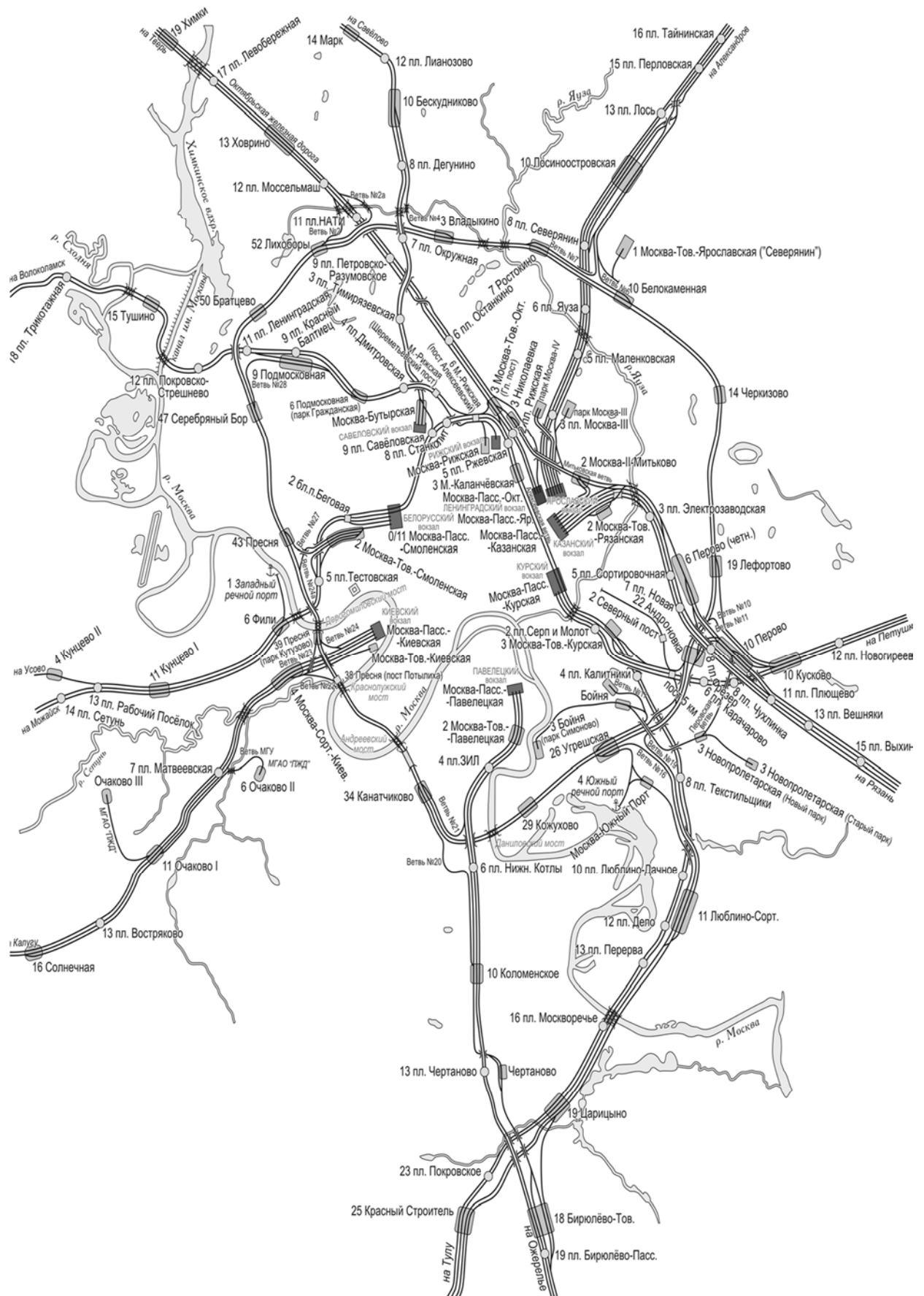


Рисунок 1.9 – Схема Московского железнодорожного узла



### 1.3. Существующая система оценки классификационных признаков узловых структур

Схемы железнодорожных и транспортных узлов должны разрабатываться комплексно, в тесной взаимосвязи с перспективными планами роста городов, промышленных районов и всех видов транспорта как составных частей единой транспортной системы, т. е. быть частью научно обоснованных генеральных схем регионального развития [124, 127].

Взаимное расположение станций, подходов главных и соединительных путей и обходов должно быть выполнено в обязательном порядке с учетом будущего развития прилегающих населенных пунктов, промышленных предприятий и сооружений других видов транспорта, соблюдения технических, экономических, экологических, архитектурно-планировочных и санитарно-гигиенических требований и удобств населения обслуживаемого узлом района.

В генеральной схеме развития узла особое внимание должно быть уделено охране окружающей среды, бережному отношению к природным ресурсам, минимальному использованию земель и угодий, ценных для других отраслей хозяйства, отдыху населения и дальнейшему росту жилищного строительства. В проектных схемах развития узлов предусматривают возможность создания автоматизированной системы управления транспортом. При проектировании узлов необходимо руководствоваться рядом следующих принципов: общая эффективность, комплексная оптимизация, концентрация, децентрализация, специализация, сохранение равновесия и пропорциональности развития отдельных элементов и подсистем узла и т. д. [34, 134]. Кроме указанных часто возникают оборонный, архитектурный, эффект влияния резервных возможностей узла.

Согласно [92] «... *Принцип общей эффективности предполагает учет при оценке эффективности проектируемого объекта (узла) как прямых эффектов, так и косвенных, которые по своим масштабам соизмеримы с*

прямыми, а в ряде случаев могут быть и больше. При оценке вариантов развития узлов учитывают следующие виды косвенных эффектов: организационный (обеспечивает экономию капитальных вложений в результате осуществления рекомендаций генерального плана, направленных на совершенствование организации труда, повышение производительности труда и т.п.); социальный (предполагает улучшение условий расселения, увеличение свободного времени трудящихся за счет сокращения продолжительности поездок, изменение в структуре штатов, ликвидацию некоторых специальностей, высвобождение рабочей силы); развития (учитывает создание резервов перерабатывающей и пропускной способности узла) и т.д.

**Принцип комплексной оптимизации** основывается на том, что наилучшая структура узла и технология его работы достигаются при совместной оптимизации всех основных параметров. Это обеспечивает оптимальные пропорции в распределении капитальных вложений между отдельными элементами узла, достигается оптимальное соотношение между размерами работы и техническим оснащением узла.

**Принцип концентрации** операций на меньшем числе станций узла (объединение станций, обслуживающих промышленные предприятия; создание базовых механизированных складов и др.).

**Принцип децентрализации** противоположен тенденции концентрации и чаще всего вызывается стремлением сократить затраты, связанные с пробегом подвижного состава, невозможностью повышения уровня концентрации, вызванной территориальными ограничениями территорий, возможностями системы управления, несовместимостью транспортных потоков и другими ограничениями.

**Принцип специализации** заключается в создании специализированных станций, грузовых районов, баз, пунктов подготовки вагонов в узле. Способствует внедрению новой техники, повышению уровня механизации и автоматизации, обеспечивает высокую производительность труда и снижение транспортных издержек. Осуществление принципа специализации связано с

концентрацией, так как применение специализированных устройств целесообразно только при мощных и устойчивых транспортных потоках.

**Принцип сохранения** равновесия и пропорциональности развития отдельных элементов и подсистем узла обеспечивает согласование элементов узла по всем эксплуатационным показателям, прежде всего по пропускной и перерабатывающей способности.

**Принцип открытого роста** элементов и подсистем узла реализуется в увязке с развитием промышленности, селитебных территорий, поэтому необходимо обеспечивать при проектировании возможности для дальнейшего их роста и не создавать непреодолимых препятствий.

**Принцип дальней перспективы** требует согласования решений для разных временных горизонтов. Данный принцип предполагает координацию ведущих направлений развития узла во взаимосвязи с процессом поиска новых принципов организации перевозочного процесса.

**Принцип конструктивной и технологической унификации** предполагает широкое использование при конструировании схем методов стандартизации, конструктивной типизации. Эти методы позволяют ликвидировать или сократить необоснованное многообразие схем, планировочных решений и сокращают срок разработки проектов. Технологическая унификация создает среду для внедрения поточных методов работы, автоматизации технологических процессов ...».

Данные принципы приводят к формированию ряда технологических, пространственных и внутрисистемных требований, каждое из которых может меняться в зависимости от местных условий проектирования и эксплуатации. Множество требований к проектированию железнодорожных узлов [83, 84, 101] может быть представлено в виде схемы (рис. 1.11).

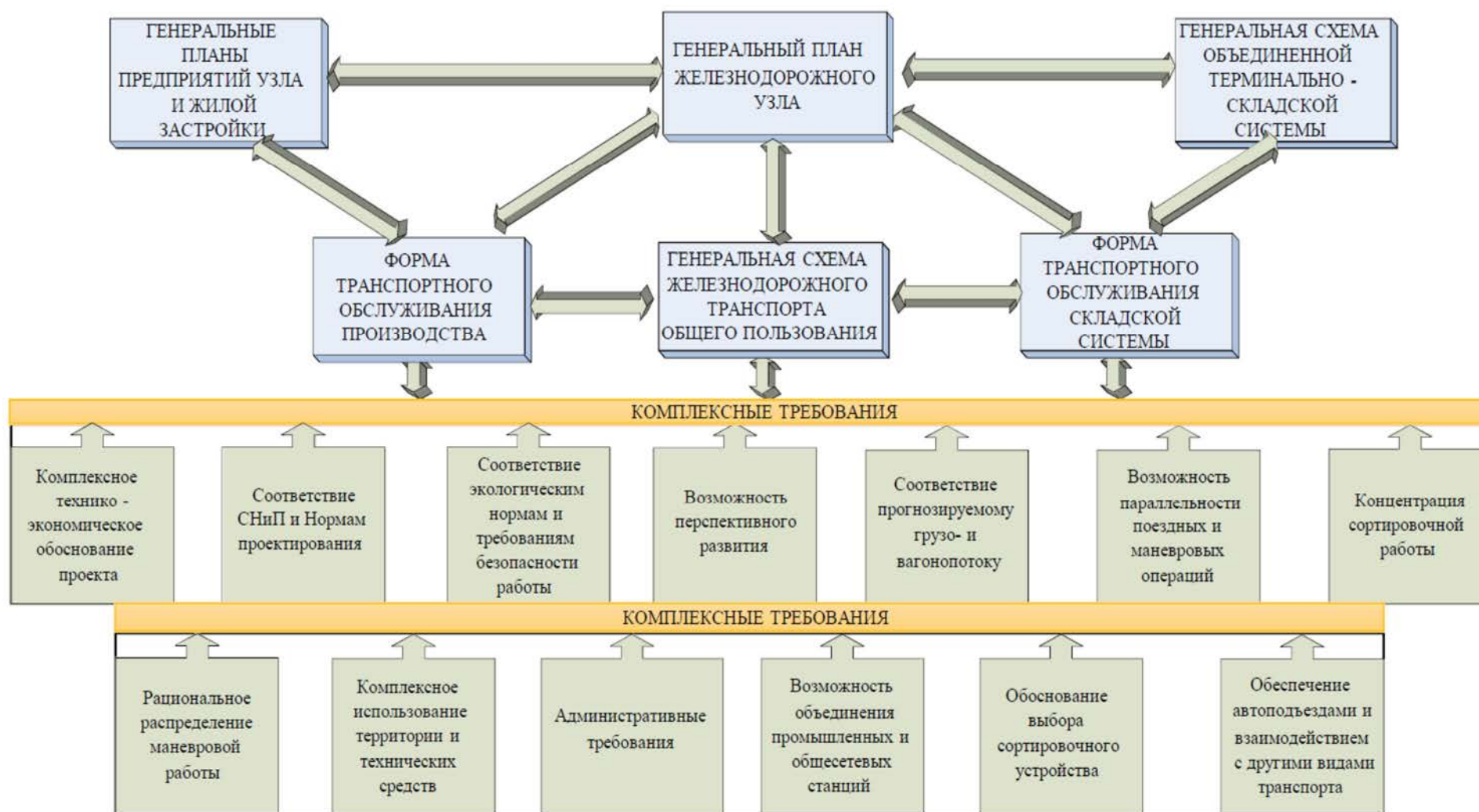


Рисунок 1.11 – Комплексные требования к проектированию железнодорожных узлов

Каждый железнодорожный и транспортный узел является уникальным транспортно-технологическим образованием. Существующая система классификации предусматривает шесть параметров оценки (рис. 1.12), из которых наиболее спорным является геометрический признак и характер эксплуатационной работы, не учитывающий современные тенденции развития в узлах терминального складирования грузов и логопарков, управление подвижным составом компаниями-операторами, развитие высокоскоростных перевозок пассажиров и грузов.

Проблемные вопросы в организации узловых транспортно-технологических процессов и классификации железнодорожных узлов представлены в виде схемы на рис. 1.13.

#### **1.4. Выводы по главе**

В первой главе диссертации представлена история развития и практический опыт формирования основных железнодорожных узлов РФ. Рассмотрено место Северо-Кавказского экономического региона в производственно-транспортной структуре России и его железнодорожная инфраструктура в рамках Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

Исследованы схемы и классификационные признаки основных железнодорожных узлов СКЖД, обслуживающих 9 субъектов СКЭР, а также характерные узловые структуры других регионов. Установлено, что схемные решения большинства узлов относятся к последовательному или комбинированному типу (для крупных узлов) с радиальными или Т-образными примыканиями. Это не позволяет выделить уникальные особенности конкретной узловой структуры и особенности организации транспортной работы. Определены проблемные вопросы в организации транспортно-технологических процессов и классификации узлов, что подтверждает необходимость разработки новой системы оценки параметров узловых структур.

| <b>Классификационные признаки<br/>железнодорожных узлов</b> |                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>По системе управления</b>                                | Объединенные                                                                                                                |
|                                                             | Раздельные                                                                                                                  |
| <b>По размеру<br/>населенного<br/>пункта</b>                | С малыми и средними городами                                                                                                |
|                                                             | С большими городами                                                                                                         |
|                                                             | С крупными городами                                                                                                         |
|                                                             | Со сверхкрупными городами                                                                                                   |
| <b>По географическому<br/>признаку расположения</b>         | Сухопутные                                                                                                                  |
|                                                             | На берегах морей                                                                                                            |
|                                                             | На берегах судоходных рек                                                                                                   |
|                                                             | На озерах и искусственных водоемах                                                                                          |
|                                                             | Сухопутные                                                                                                                  |
| <b>По характеру<br/>эксплуатационной<br/>работы</b>         | Транзитные с небольшим объемом<br>сортировочной работы без тягового<br>обслуживания (проходные)                             |
|                                                             | Транзитные с небольшим объемом<br>сортировочной работы<br>с большой местной работой и<br>транзитными перевозками (конечные) |
|                                                             | Перевалочные                                                                                                                |
|                                                             | Перегрузочные                                                                                                               |
|                                                             | Промышленные                                                                                                                |
| <b>По характеру<br/>производительных сил</b>                | В районах с местной промышленностью                                                                                         |
|                                                             | В районах с крупной добывающей<br>промышленностью                                                                           |
|                                                             | В районах с обрабатывающей<br>промышленностью                                                                               |
| <b>По геометрическому<br/>очертанию</b>                     | С одной станцией                                                                                                            |
|                                                             | Крестообразные                                                                                                              |
|                                                             | Треугольные                                                                                                                 |
|                                                             | С параллельным расположением станций                                                                                        |
|                                                             | С последовательным расположением станций                                                                                    |
|                                                             | Радиальные                                                                                                                  |
|                                                             | Тупиковые                                                                                                                   |
|                                                             | Кольцевые                                                                                                                   |
|                                                             | Радиально-полукольцевые                                                                                                     |
|                                                             | Комбинированные                                                                                                             |

Рисунок 1.12 – Существующие классификационные признаки  
железнодорожных узлов



Рисунок 1.13 – Проблемные вопросы в организации транспортно-технологических процессов и классификации железнодорожных узлов

## **Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУР И ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ**

### **2.1. Анализ отечественного и зарубежного опыта в области проектирования, эксплуатации и перспективного развития узловых железнодорожных транспортно-технологических систем**

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 академика 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, К.Ю. Скалова [97], Н.С. Ускова [106], Ф.И. Шаульского, 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 доктора техн. наук Е.В. Архангельский, В.М. Акулиничев [1, 2], А.К. Головнич [18], А.Т. Дерibas, В.А. Дмитриев, Ю.И. Ефименко [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32], Б.Б. Жардемов [33], И.Т. Козлов, П.А. Козлов [48, 49, 50, 51, 52, 53, 54], Э.А. Мамаев [61], В.Я. Негрей [81], В.М. Николашин, А.Т. Осьминин [71], В.А. Персианов [74, 75, 76], Н.В. Правдин [80, 81, 82], В.В. Повороженко, А.Н. Рахмангулов [56, 87, 88, 89], Сизый С.В. [96], А.А. Смехов, Н.К. Сологуб [98, 99], О.Н. Числов [124, 127, 128], Н.Н. Шабалин [131], М.И. Шмулевич, В.Г.

Шубко [34, 134] и др., кандидаты технических наук В.М. Астафьев [5], Д.К. Белов [9], В.А. Бураков, Д.В. Гончаров [19], В.Н. Дегтяренко, К.М. Добросельский, А.Н. Корешков, А.М. Корнаков, Д.Н. Куклев [59], Е.Г. Лазарев, А.А. Леонов [60], С.И. Логинов, А.Я. Локтев, В.М. Мирошниченко, Ю.П. Наяшков, А.С. Писанко, В.А. Покавкин, В.В. Романов [91], Е.И. Сычев, К.К. Таль, В.Н. Чернов [119], Н.Н. Числов [36, 86, 120, 121, 122, 123], и др.

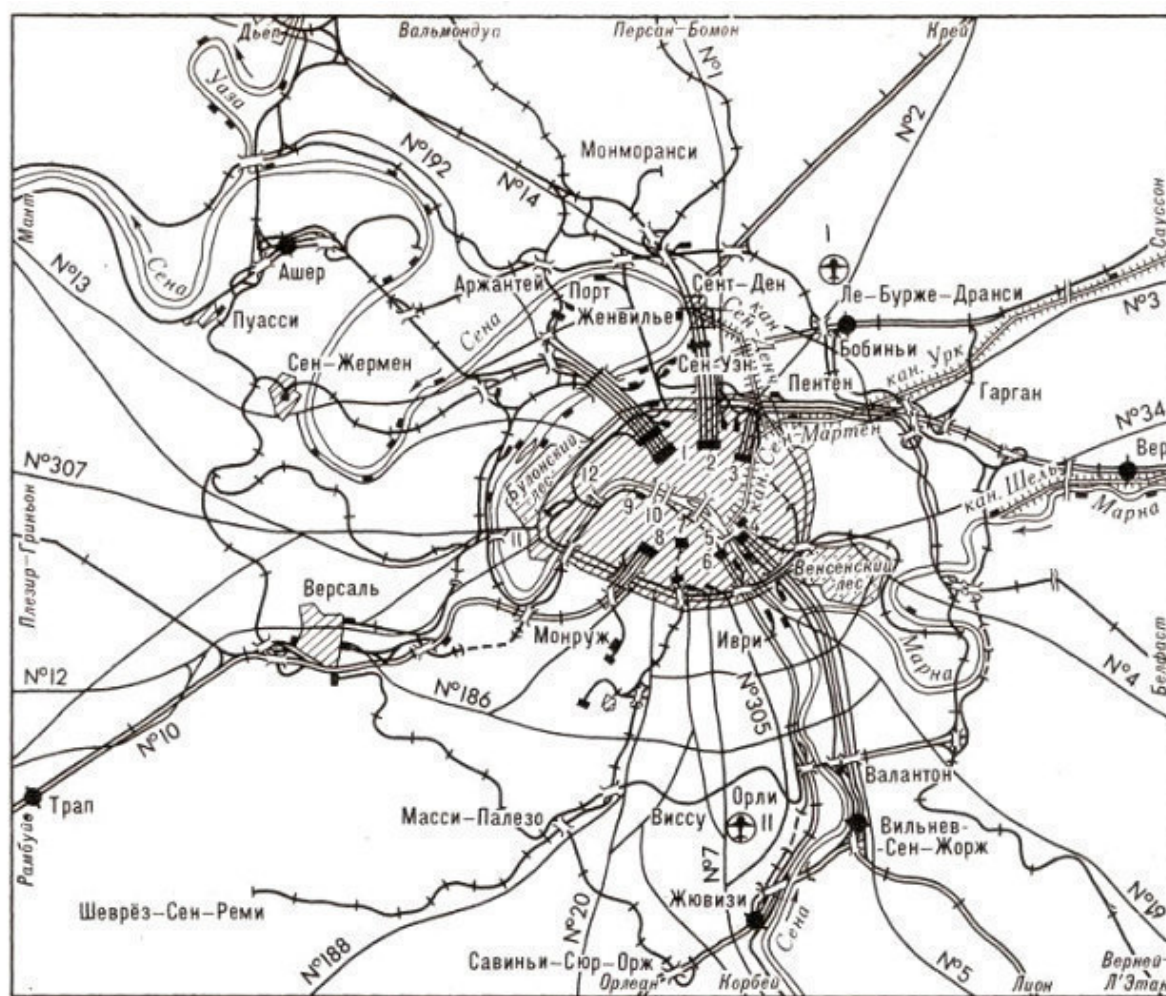
В настоящее время из-за особенностей развития значительная часть исторически сложившихся узлов находится в стесненных условиях городской застройки. Общее направление для их развития – сооружение новых устройств на новых территориях с технологической связью с существующими. Небольшие транзитные узлы развиваются в направлении сооружения развязок подходов и новых парков для обслуживания транзитных поездов; удлинения и строительства новых приемо-отправочных и сортировочных путей; устройства механизированных горок, электрической централизации стрелочных переводов. В узлах со значительной местной работой и одной объединенной станцией сооружают новые грузовые станции для обслуживания промышленности, усиливают подъездные пути к предприятиям, расширяют погрузочно-разгрузочные фронты, автоматизируют работу горочных станций. Также сооружают обходы для выноса на них грузового транзитного движения. В крупнейших узлах особое внимание уделено улучшению обслуживания пригородных пассажиров, постепенному выносу на периферию городов различных складов и грузовых комплексов [134].

Зарубежный опыт проектирования узлов накоплен в результате разработки схем и технологии работы крупнейших железнодорожных узлов Европы: Парижского, Берлинского, Гамбургского, Кёльнского, Брюссельского, Мюнхенского, Венского, Варшавского, Миланского, Мадридского и др.; узлов Азии: Токийского, Бомбейского, Шанхайского, Пекинского и др.; США: Чикагского, Нью-Йоркского, Филадельфийского и др.

На характер работы узлов влияет их территориальное расположение. Узлы, находящиеся в пунктах слияния большого числа сухопутных подходов со всех сторон, в большинстве случаев имеют радиально-кольцевые схемы (Париж, Рим, Берлин, Мадрид, Вена), выполняют наряду с крупными местными операциями транзитные перевозки грузов и пассажиров. Следует отметить, что Брюссельский, Берлинский, Венский, Пражский узлы стали радиально-кольцевыми постепенно, путем постепенного развития станций и соединения сходящихся линий. Парижский узел сразу проектировался и строился кольцевого типа.

К **Парижскому железнодорожному узлу** (рис. 2.1) подходят 16 многопутных линий. Пять железнодорожных линий на расстоянии около 80 км – четырехпутные. Участок Париж – Вильнев-Сен-Жорж – шестипутный, а на небольшом протяжении – десятипутный. Сходящиеся в узле линии заканчиваются в узле 10 тупиковыми пассажирскими станциями (Сен-Лазар, Северная, Восточная, Бастилия, Лион, Аустерлиц, Люксембург, Монпарнас, Инвалид, Кэ-д'Орсей).

Узел обслуживается 6 основными сортировочными станциями: Трап, Ашер, Ле-Бурже, Вер, Вильнев-Сен-Жорж, Жювизи. Все они расположены вблизи кольцевой линии (10 - 20 км от города), на подходах к ней (Трап, Ле-Бурже) или непосредственно на кольце (Жювизи, Ашер). Сортировочные станции обслуживают многочисленные промышленные, складские предприятия и крупный порт на реке Сена.



|                         |                        |                              |               |
|-------------------------|------------------------|------------------------------|---------------|
| ◆ сортировочные станции | — двухпутные линии     | <b>Пассажирские станции:</b> |               |
| ▲ технические "         | == четырехпутные линии | 1 Сен-Лазар                  | 6 Аустерлиц   |
| ■ грузовые "            | --- линии в депо       | 2 Северная                   | 7 Люксембург  |
| ■ пассажирские "        | --- линии в депо       | 3 Восточная                  | 8 Монпарнас   |
|                         | --- метрополитена      | 4 Бастилия                   | 9 Инвалид     |
|                         |                        | 5 Лион                       | 10 Кэ-д'Орсей |

Рисунок 2.1 – Схема Парижского железнодорожного узла

**Берлинский железнодорожный узел** (рис. 2.2) имеет примыкание 14 магистральных железнодорожных линий и двух линий местного значения. В числе магистральных подходов 7 четырехпутных. В узле имеются 7 основных пассажирских станций, два диаметра (западно-восточный и северо-южный) и две окружные дороги. В узле имеется 6 сортировочных станций (Зеддин, Грюнау, Шпандау, Вустермарк, Панков, Вильхайде). Грузовые станции расположены как внутри кольца вблизи тупиковых пассажирских станций (7 грузовых станций), так и на малом кольце (14 грузовых станций).

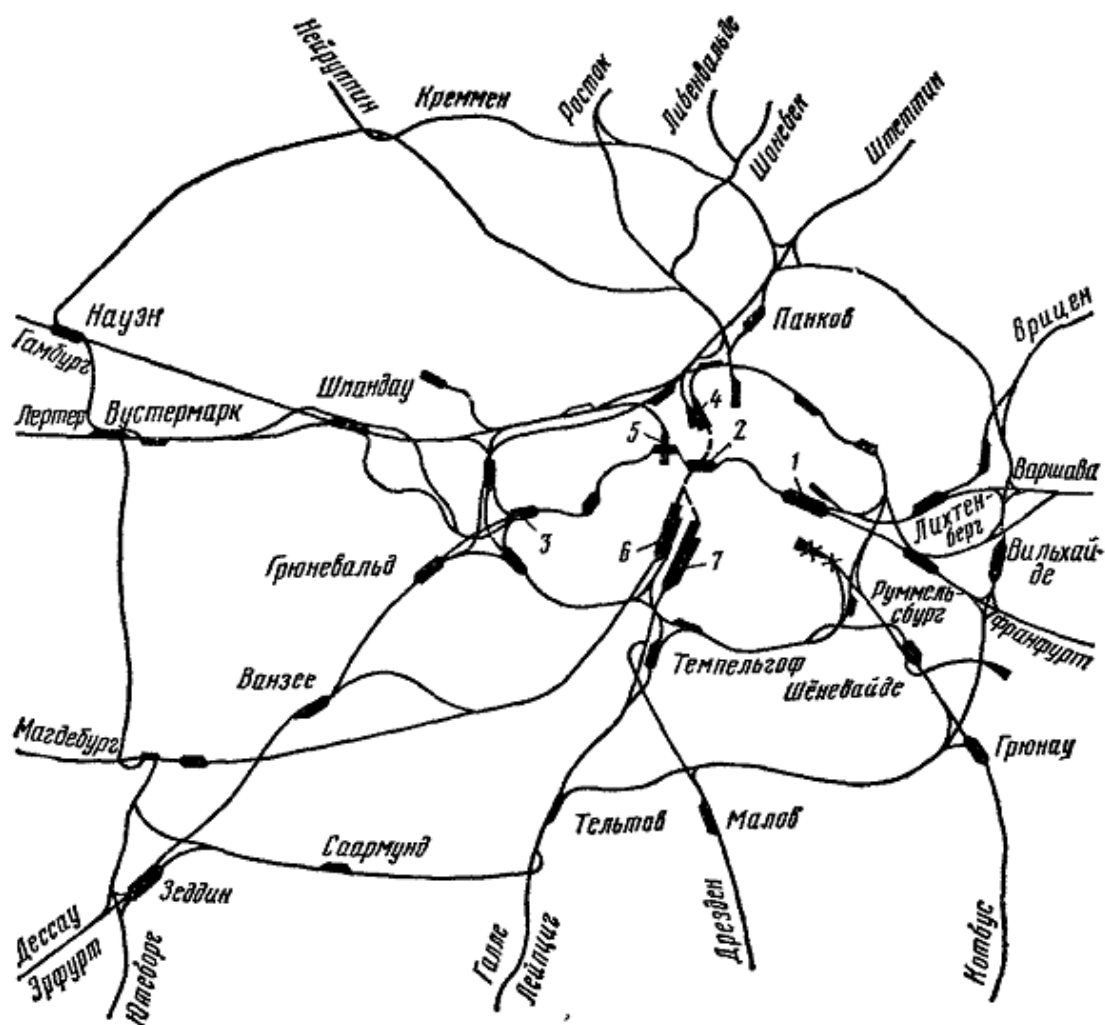


Рисунок 2.2 – Схема Берлинского железнодорожного узла

Зарубежные узлы, возникшие в устьях рек (Каир, Нью-Йорк) или на берегу озер (Чикаго) или моря (Лиссабон, Буэнос-Айрес) – радиально-полукольцевые – обслуживают конечные железнодорожные и смешанные железнодорожно-водные перевозки.

В радиально-полукольцевых узлах внутригородские диаметры связывают противоположные подходы к узлу с основной пассажирской станцией (Амстердам, Копенгаген). В узлах данного типа велика загрузка тупиковых пассажирских станций.

Из зарубежных узлов радиально-полукольцевого типа наиболее крупным является Нью-Йоркский (США).

Нью-Йоркский железнодорожный узел обслуживает город Нью-Йорк и крупнейший в мире порт и отличается большим транзитным грузооборотом в железнодорожно-водном сообщении (рис. 2.3).

К узлу подходят 26 железнодорожных линий. В узле имеется много пассажирских станций, в том числе 10 крупных, 23 сортировочных (из них 14 основных) и большое число портовых и грузовых станций.

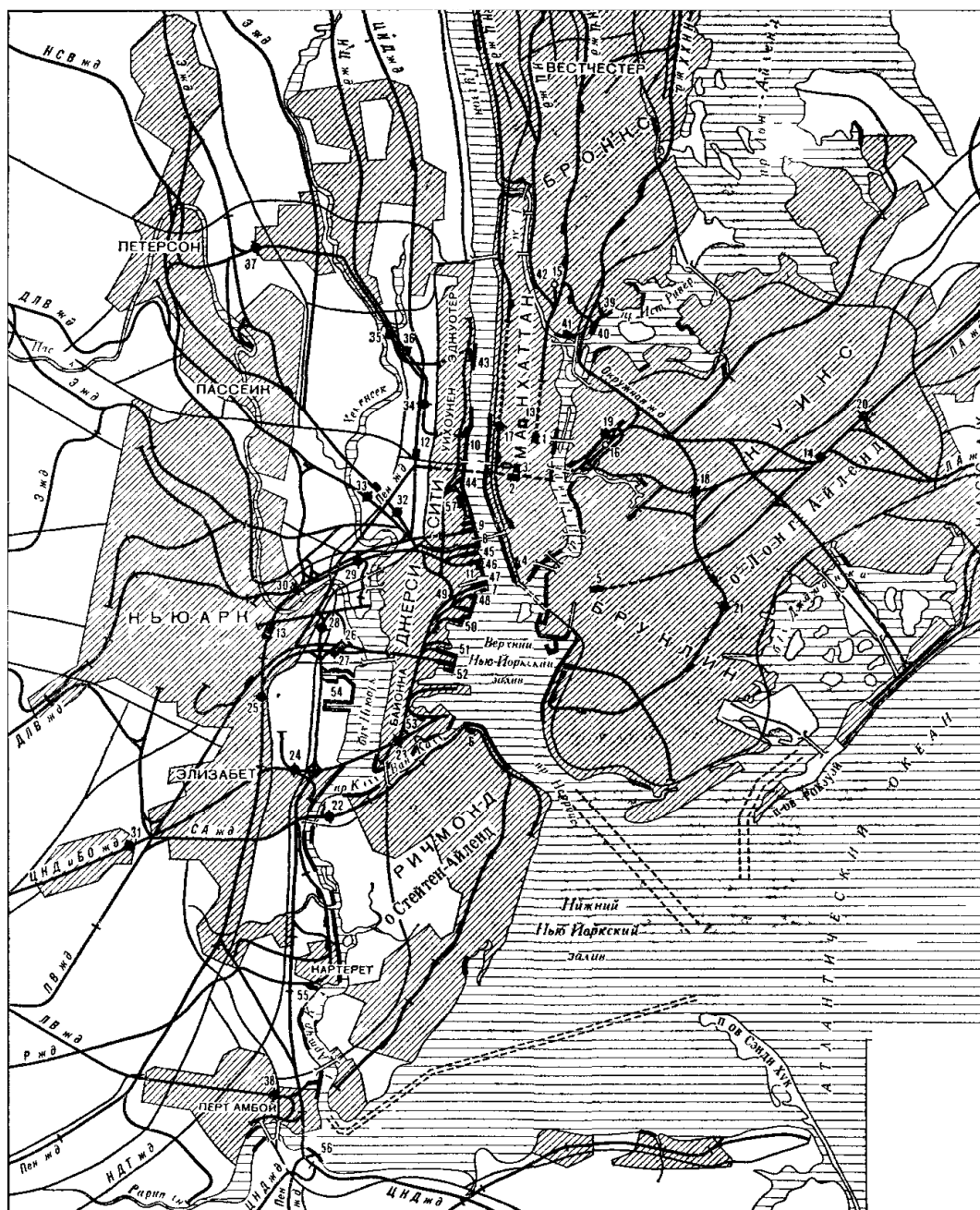


Рисунок 2.3 – Схема Нью-Йоркского железнодорожного узла

В приложении 1, рис. П1.20 – рис. П1.23 представлены схемы других крупных узлов мира.

Анализ развития узлов в крупнейших городах выявил следующий ряд особенностей [34, 36, 25, 92]. Для крупных узлов мира (Берлин, Брюссель, Милан, Токио и др.) характерно большое число подходов магистральных линий (например, в Пражском 7 подходов, Миланском – 7, Брюссельском – 6), наличие глубоких вводов, диаметров и окружных железных дорог (Берлин, Париж). В крупных узлах большее число станций располагается в местах пересечения железной дороги с уличными магистралями.

Высокая нагрузка подходящих к крупным железнодорожным узлам линий требует большой пропускной способности. Поэтому на подходах к городу сооружают многопутные, в основном электрифицированные участки, оборудованные автоблокировкой, и развитые специализированные станции: пассажирские, сортировочные, грузовые, технические, промышленные и др.

Размеры дальних (в том числе транзитных) и местных пассажирских перевозок в узлах мировых центров (Париж, Нью-Йорк, Лондон и др.) достигают нескольких сотен поездов в сутки. Для узлов характерны мощные потоки пригородных пассажиров, особенно в утренние и вечерние часы. Железные дороги совместно с автомобильным транспортом, метрополитеном, а в некоторых случаях и с водным транспортом обеспечивают связь города с пригородными населенными пунктами и городами-спутниками. С учетом пригородного пассажирского движения объем перевозок превышает 1000 поездов в сутки. Поэтому многие железнодорожные линии на подходах к крупным узлам имеют многопутные участки.

Во многих узлах стоит проблема сооружения диаметров для дальнего и пригородного движения. В некоторых она уже решена. Например, в Брюссельском узле еще в 1954 г. был построен шестипутный диаметр между Северным и Южным вокзалами протяженностью 3,6 км, в том числе в тоннелях 2,1 км и на эстакадах 1,1 км.

На диаметрах размещают пассажирские станции для обслуживания как дальнего, так и пригородного движения и остановочные пункты исключительно для пригородных поездов. Число пассажирских станций диаметра для

дальних пассажирских поездов не превышает двух-трех станций, чтобы не замедлять пропуск данных поездов в пределах города. Остановочные пункты на диаметре располагают в районах пересечений с линиями метрополитена и основными городскими магистралями для удобства обслуживания пригородных и городских пассажиров.

На концах диаметра за пределами города размещают технические пассажирские станции, объединенные для нескольких направлений (Берлинский узел).

Концентрация обслуживания дальних пассажирских поездов на меньшем числе станций приводит к сокращению площади, занимаемой железной дорогой, объединению обработки пассажирских составов на меньшем числе технических пассажирских станций и помогает значительно снизить эксплуатационные расходы.

В узлах кольцевого типа «малое» кольцо, построенное когда-то за пределами города для пропуска грузовых поездов, со временем оказывается в городе, и его значение меняется. Чаще всего «малое» кольцо обслуживает значительную часть местной грузовой работы узла (на нем располагаются грузовые станции с многочисленными предприятиями). При этом зачастую местный грузооборот узлов отличается тем, что прибытие грузов, снабжающих город продуктами и промышленные предприятия сырьем, обычно в несколько раз превышает вывоз готовой продукции многочисленных предприятий

Загруженность малого кольца местными и транзитными грузовыми потоками вызывает необходимость выноса из города транзита. Для этого сооружают второе «большое» кольцо. Исторический опыт постройки такого кольца в ряде узлов показал, что его целесообразно удалять от центра города на расстояние не менее чем 30–40 км, чтобы не нарушать планировку пригородной зоны.

На примере Берлинского узла при сооружении большого кольца уменьшается загрузка сортировочных станций, расположенных на подходах

к малому кольцу. Развитие станций обычно сталкивается с серьезными препятствиями в виде застроенных прилегающих территорий. Перевод же транзитных потоков на внешнее кольцо снижает нагрузку на существующие сортировочные станции узлов, что решает проблему острой необходимости значительного их переустройства.

## **2.2 Методы исследования путевого развития и транспортных процессов железнодорожных узлов**

Основной целью современного проектирования является разработка эффективного теоретического и методологического аппарата для оценки структур и направлений развития узлов.

В настоящее время при решении оптимизационных транспортных задач широко применяются результаты исследований выдающихся теоретиков Р. Беллмана, А. Пуанкаре, Т.Л. Саати, А.А. Андропова, Л.В. Канторовича, А.Н. Колмогорова, В.В. Леонтьева, А.М. Ляпунова, А.А. Маркова, Н.Н. Моисеева Л.С. Понтрягина и др. При выборе этапности развития узловой железнодорожной системы, создании имитационных моделей объектов железнодорожных узлов используются методы теории информации и кибернетики К. Шеннона, теория катастроф Р. Тома и В.И. Арнольда, теории игр Дж. фон Неймана и О. Моргенштерна, теории систем Дж. Ван Гига и П. Чекленда, теории прогнозирования состояния системы А.К. Эрланга, синергетики Г. Хакена, теории самоорганизации, логистические и другие концепции.

Железнодорожные узлы формируют комплексную среду обслуживания перевозок в районах крупных городов или промышленных центров. В местах их расположения образуются зоны тяготения грузовых и пассажирских потоков, интенсивность которых при удалении от железнодорожного узла уменьшается. Из-за появления городов-спутников, дачного строительства, размещения заводов за пределами городской черты в железнодорожных узлах с течением времени могут происходить изменения геометрического пла-

на с увеличением внутриузловых перегонов, сооружением вылетных линий и рассеянным размещением станций.

Наиболее важными задачами в изучении железнодорожных узлов являются [34, 25, 92]:

- разработка алгоритма оценки рациональных узловых структур для обеспечения более эффективной организации работы;
- проектирование обходов узлов, которые позволят разгрузить крупные железнодорожные узлы путем выноса транзитных потоков и помогут развитию такого перспективного направления, как высокоскоростные поезда;
- формирование системной классификации железнодорожных узлов.

Проблема проектирования узлов рассмотрена в «Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 г.» в разделе по развитию железнодорожных узлов.

В диссертационной работе для оценки уровня организации транспортно-технологических процессов используется энтропийный подход; узловой структуры применен графоаналитический подход. При разработке новой системной классификации железнодорожных узлов был использован критерильный подход для ранжирования узлов по классам при их сравнительном анализе (рис. 2.4).

Для реализации энтропийного и графоаналитического подходов необходима формализация узловой структуры. В настоящее время широкое применение для формализации путевого развития железнодорожных узлов получили *методы теории графов и сетей* [17, 68, 77, 117].

Новыми методами в исследовании структур и транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов являются *методы теории катастроф*, примененные докт. техн. наук Б.Б. Жардемовым в работе [33], *методы теории системного анализа*, примененные докт. техн. наук Н.К. Сологубом и А.Т. Осьмининым [11, 71, 98, 99].

Докт. техн. наук Б.Б. Жардемов считает, что «процесс развития узлов и станций неинтегрируем вследствие сложного поведения таких систем. По-

этому для их описания неизбежно сочетание детерминистических и стохастических методов». Автором впервые был предложен показатель «мера сложности структуры» и на основе теории катастроф исследовано место и время структурных перестроек в процессе развития станций и узлов.

А.Б. Чернобельский предлагает оценивать уровень организации транспортной системы по «уровню энтропии системы» [118]. Состояние системы характеризуется вероятностными показателями происходящих в ней процессов. Уровень организации транспортной системы и всех ее составляющих подсистем предложено оценивать с помощью введенного математиком К. Шенноном понятия «избыточности» [133] по формуле:

$$R = 1 - \frac{H}{H_{max}} \quad (2.1)$$

где  $R$  – уровень относительной организации системы или «избыточность»;

$H$  – текущее значение неопределенности системы;

$H_{max}$  – максимально возможная неопределенность системы.

Энтропийная оценка транспортной системы была рассмотрена и в трудах Г. Поттхоффа [78].

К исследованию *методов рационального размещения системных объектов узла* можно отнести труды [3, 60, 124, 127]. Широкое распространение при решении данных задач получили методы *теории графов и сетей, теории игр, итеративный метод направленного перебора* (используется при графоаналитическом подходе), *экспертных оценок*, основной принцип которых заключается в размещении объектов по критерию минимума транспортных расходов.

Мировые транспортные державы (США, Германия, Англия, Франция, Бельгия, Япония и другие) известны своими научными и технологическими решениями по управлению работой транспортных узлов, проектированию и размещению узловых станций, эффективным системами поездообразования и маневровой работы. Немецкие ученые Г. Поттхофф (*G.Potthoff*), У. Кауэр

(*W.Cauer*), У. Мюллер (*W.Muller*) внесли весомый вклад в область оптимизации транспортных систем.

У. Кауэр в начале прошлого века предложил топологические процедуры при разработке рациональных соединений путей и схем станций. В Дрезденском институте транспорта докт. техн. наук, проф. Г. Поттхофф [79] разработал систему рационального проектирования и размещения железнодорожных станций на основе таблицы зависимостей процессов прибытия поездов, пользуясь распределением Пуассона. У. Мюллер сформировал детальную топологическую методологию проектирования вариантов путевого развития на базе схематически определенных требований к передвижениям поездов и комбинаторного анализа [67]. Эксплуатационные требования к станциям были представлены в компактной диаграммной форме, названной диаграммой Мюллера.

Продолжили разработки эффективного проектирования транспортных систем труды Х. Балуха (*H. Baluch*) [8], М. Зюмера (*M. Sumer*) [38], А. Муссо (*A. Musso*), Г. Корацца (*G. Corazza*) [55] и других. Ими предложены методики анализа путевого развития железнодорожных станций и узлов с помощью матричной классификации передвижений поездов на базе электронных моделей раздельных пунктов, описанных в виде графа.

В настоящее время компоновочные решения транспортных узлов зарубежных развитых стран успешно решены на базе моделей экономико-математического и имитационного моделирования, теории графов, методов системного анализа и теории массового обслуживания и логистических концепций.

*Методы экономико-математического программирования* используются в трудах отечественных [2, 7, 9, 61, 70] и зарубежных ученых [38, 41] для поиска оптимальных моделей распределения грузопотоков в железнодорожных узлах, размещения распределительных станций на основе алгоритмов линейного и нелинейного программирования.

Достоинством линейного программирования является возможность получения оптимального решения. К минусам, как отмечается в некоторых работах [46, 71], относятся статичность изучаемых схем потоков и отсутствие зависимости между удельными расходами и объемом перевозок (нет разницы исследуется груженое или порожнее движение). Наиболее оптимальным может быть исследование динамического процесса, реализуемого нелинейными формами программирования.

*Методы нелинейного программирования* решают задачи с параметрами входных данных, не пропорциональных выходным результатам. При решении получают неотрицательные значения переменных (показатели транспортной работы), подчиненных системе ограничений в виде неравенств, при которых достигается максимум или минимум целевой функции.

*Динамическое программирование* используют при решении задач этапного развития железнодорожного узла, управления транспортными технологическими процессами в транспортных системах с ограничениями по пропускной способности, времени, подвижному составу и т.п., для сокращения размерности многовариантных задач [23].

Значительный вклад в развитие теории комплексного применения экономико-математических методов, математической статистики и теории вероятности при решении транспортно-технологических задач внесли докт. техн. наук К.Ю. Скалов, В.А. Персианов, А.А. Смехов, Н.В. Правдин, Ю.И. Ефименко, П.А. Козлов, В.Я. Негрей, С.В. Сизый, Рахмангулов А.Н., Э.А. Мамаев и др. [28, 29, 30, 48, 49, 51, 53, 56, 61, 81, 82, 96].

*Методами системного анализа* решают задачу количественного (качественного) сравнения узлов. Чтобы получаемые в результате анализа оценки позволяли вести сравнение узлов, они должны отображать существенные свойства узлов (инфраструктуру, показатели работы).

*Методы теории принятия решений в условиях неопределенности* позволяют находить эффективные решения для сравнительного анализа в условиях неоднозначности принимаемых решений и сложности (невозможности)

прогнозирования показателей. Известны классические и производные критерии принятия решений. К классическим относят следующие критерии: максиминный критерий; оптимистический критерий; нейтральный критерий; критерий Сэвиджа [11].

*Максиминный критерий (ММ-критерий или критерий Вальда)* характеризуется крайне осторожной или пессимистической позицией к существующим параметрам железнодорожных узлов. Это означает, что из всех значений параметров узлов выбирают наихудшие значения для каждого из них, далее ранжирование проводится от наибольшего значения (лучший узел) к наименьшему (худший узел). Целевая функция ранжирования имеет вид:

$$Z_{MM}^1 = \max_i \{K_i\} \dots \longrightarrow \dots Z_{MM}^n = \min_i \{K_i\},$$

$$K_i = \min_j \{a_{ij}\}$$
(2.2)

где  $a_{ij}$  – значения параметра  $j$  для узла  $i$ ;

$K_i$  – значение критерия для узла  $i$ ;

$n$  – количество исследуемых систем.

*Оптимистический критерий (или Н-критерий)* характеризуется крайней оптимистической позицией к существующим параметрам узлов. По этому критерию из всех значений параметров узлов выбирают наилучшие значения каждого из них, далее ранжирование проводится от наибольшего значения к наименьшему:

$$Z_H^1 = \max_i \{K_i\} \dots \longrightarrow \dots Z_H^n = \min_i \{K_i\},$$

$$K_i = \max_j \{a_{ij}\}$$
(2.3)

*Нейтральный критерий (N-критерий)* характеризуется нейтральной или средневзвешенной позицией к существующим параметрам узлов. При использовании данного метода из всех параметров систем выбирают среднеарифметические значения, далее ранжирование проводится от наибольшего значения к наименьшему по формуле:

$$Z_N^l = \max_i \{K_i\} \dots \longrightarrow \dots Z_N^n = \min_i \{K_i\},$$

$$K_i = \frac{1}{m} \cdot \sum_l^m \{a_{ij}\}. \quad (2.4)$$

где  $m$  – количество параметров.

*Критерий Сэвиджа (S-критерий)* характеризуется крайней осторожной (пессимистической) позицией к недостаткам  $L_{ij}$  рассматриваемого узла (разнице между «условно идеальным» по параметрам узлом и существующими параметрами исследуемого узла). При S-критерии указанная крайне осторожная позиция (аналогичная позиции ММ-критерия) реализуется применительно к показателям недостающих значений параметров до «идеала», а не применительно к существующим параметрам узла (как это имеет место в рамках ММ-критерия). При использовании данного критерия по каждому узлу среди «недостатков» выбирают наибольший «недостаток», затем проводят ранжирование от узла с наименьшим «недостатком» к узлу с самым большим «недостатком».

$$Z_S^l = \min_i \{K_i\} \dots \longrightarrow \dots Z_S^n = \max_i \{K_i\},$$

$$K_i = \max_j \{L_{ij}\}, L_{ij} = \max_j \{a_{ij}\} - a_{ij}. \quad (2.5)$$

Однако, классические критерии имеют существенный недостаток. Они не учитывают степень важности того или иного параметра узла.

Для целей диссертационного исследования рассмотрим производные критерии теории принятия решений.

*Критерий Гурвица (HW-критерий)* характеризуется взвешенной позицией пессимизма-оптимизма. В решении задачи сравнения параметров узлов за основу принимаются «взвешенные» критерии «крайнего» пессимизма (ММ-критерий) и «крайнего» оптимизма (Н-критерий). Ранжирование проводится от наибольшего значения к наименьшему. Целевая функция критерия представлена следующим образом:

$$Z_{HW}^l = \max_i \{K_i\} \dots \longrightarrow \dots Z_{HW}^n = \min_i \{K_i\}$$

$$K_i = c \cdot \min_j \{a_{ij}\} + (1 - c) \cdot \max_j \{a_{ij}\} \quad (2.6)$$

где  $a_{ij}$  – значения исследуемых параметров;

$c$  – «вес», с которым учитывается оценка классического  $MM$ -критерия,  $c \in [0;1]$ ;

$(1-c)$  – «вес», с которым учитывается оценка классического  $N$ -критерия.

*Критерий произведений (P-критерий)* характеризуется менее пессимистической позицией, чем максиминный  $MM$ -критерий, но более пессимистической, чем нейтральный  $N$ -критерий.

Применительно к оценке узловой структуры показатели параметров перемножаются с целью компенсации неоптимальных значений одного из показателей лучшими значениями другого показателя. Целевая функция критерия имеет вид:

$$Z_P^l = \max_i \{K_i\} \dots \longrightarrow \dots Z_P^n = \min_i \{K_i\}$$

$$K_i = \prod_{j=1}^m a_{ij} \quad (2.7)$$

Так как при использовании значительного числа оценочных факторов показатель критерия получается излишне громоздким, его приводят к виду среднего геометрического значения  $K_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}}$ , где  $m$  – количество параметров. Предлагается использовать средний геометрический показатель (на практике), что не изменит результатов выбора.

*Критерий Гермейера (G-критерий)*, так же как и *критерий Сэвиджа*, наиболее ориентирован на сравнение «недостатков» узлов (подробно рассмотрен в третьей главе). Для сохранения особенности структуры, присущей  $G$ -критерию, но уже применительно к анализу существующих параметров («достоинств») узлов, привела к формированию специального авторского критерия, который назван *модификацией критерия Гермейера – G(mod)*.

Для расчета задается дополнительная субъективная оценка значимости параметра  $j$  –  $q_j$ , при этом  $0 < q_{ij} < 1$ ;  $\sum_j q_{ij} = 1$ .

Целевая функция ранжирования по модифицированному  $G(mod)$ -критерию Гермейера имеет вид:

$$Z_{G(mod)}^1 = \max_i \{K_i\} \dots \longrightarrow \dots Z_{G(mod)}^n = \min_i \{K_i\}$$

$$K_i = \min_i \{a_{ij} \cdot \frac{1}{q_{ij}}\}, \quad (2.7)$$

Современные научные разработки в оценке параметров узловых структур и уровней организации транспортных процессов выполнены в трудах докт. техн. наук П.А. Козлова на основе методов имитационного моделирования [48, 50], динамического программирования [51], микро- и макро моделирования [49]. Авторская методика позволяет отображать не только технологию и процессы накопления, но и информационное и иерархическое управление [52].

Докт. техн. наук А.Н. Рахмангулов разработал комбинированную аналитико-имитационную модель транспортно-технологических систем [88], объединяющую системно-динамические и дискретно-событийные имитационные модели с комплексом оптимизационных математических моделей. Автором было установлено, что «...моделирование функционирования транспортно-технологических процессов на уровне оперативного управления и текущего планирования эффективно осуществлять с использованием дискретно-событийного подхода, на уровне стратегического планирования - системно-динамического подхода».

Д.В. Гончаров в своих трудах [19] сформировал систему оценивания эффективности выноса сортировочной и грузовой работы за пределы железнодорожных узлов. Автор разработал методику определения станций для переноса на них грузовой и сортировочной работы со станций в черте города. Данная методика учитывает не только строительные и эксплуатационные расходы, но и рациональное взаимодействие между основными станциями узла.

Д.Н. Куклев описал основные факторы, определяющие целесообразность сооружения обходов железнодорожных узлов (эксплуатационные, экономические, экологические, градостроительные и специальные) [59]. Им было определено, что эффективность сооружения обходов железнодорожных

узлов зависит от среднего времени нахождения в узле транзитных грузовых поездов при отсутствии и наличии обхода. Для решения этой задачи автор разработал имитационную модель работы узла на базе системы моделирования GPSS World для определения времени нахождения в узле транзитных грузовых поездов при наличии и отсутствии обхода.

В.В. Романов сформировал метод обоснования рационального размещения и числа пассажирских технических станций в железнодорожных узлах с использованием авторской имитационной модели «для определения времени на подачу составов пассажирских поездов с пассажирской на техническую станцию и обратно при удаленном их расположении» [91].

Методика распределения грузопотоков в железнодорожном транспортном узле во взаимодействии с работой грузовых станций и транспортно-экспедиционных предприятий была исследована А.А. Леоновым в работах [60].

Э.С. Минакова в своей работе [65] сформировала концепцию реинжиниринга железнодорожной грузовой станции в интегрированный транспортный центр логистического обслуживания, разработала многокритериальную модель системы доставки грузов для оптимизации обслуживания грузовладельцев в железнодорожных узлах.

### **2.3. Выводы по главе**

Во второй главе исследованы научные и практические результаты отечественного и зарубежного проектирования схем узлов и уровней организации транспортной работы. Установлено, что существующая отечественная методология классификации узловых структур, требует развития на основе модифицированных методов теории принятия решений с учетом передовых зарубежных разработок. Анализ существующих методов оценки узлов показал, что наиболее часто используются экономико-математическое программирование, теория вероятностей и массового обслуживания, статистический анализ, теория графов и сетей, методы системного анализа, экспертных оценок. Иногда оправдано применение эмпирических подходов в анализе компоновочных решений схем узлов.

В перспективной системе классификационных показателей необходимо также рассмотреть вопрос учета экологических и социально-политических факторов, плотности населения и степени вовлечения региональных узлов в мировую транспортную систему.

Установлено, что создание метода оценки узловых структур и степени организации транспортно-технологических процессов возможно на принципах рациональности схемных решений, требующих создания новых критериев оценки на основе энтропийного и графоаналитического подходов, статистических методах, теории вероятностей, массового обслуживания и принятия решений.

### Глава 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СТРУКТУР И УРОВНЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ УЗЛОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

#### 3.1. Формирование пространственно-планировочной модели узла

Существующие схемные решения узлов характеризуются большой степенью сложности вследствие многообразия формирующих элементов и подсистем, функционирование которых связано с наличием определенных факторов неравномерности и неопределенности. Поэтому формализация железнодорожной схемы узла является важной задачей и должна отвечать многим требованиям.

Наиболее полно поставленным целям отвечает теория графов [17, 68, 117], позволяющая описывать геометрические схемы узлов при помощи планарного связанного графа  $G = \{X, A\}$ , где  $X$  – множество вершин графа, интерпретируемых как станции железнодорожной сети:  $X \in \{X_1, X_2, X_3 \dots X_n\}$ ;  $A$  – множество ребер графа, соединяющих вершины,  $A \in \{(X_1; X_2), (X_2; X_3) \dots (X_{n-1}; X_n)\}$ .

Распространенным способом представления графа для хранения, анализа и обработки информации о сетевых структурах является квадратная матрица 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.

Для характеристики эксплуатационной надежности узла по типу транспортных связей может использоваться теория графов и теория вероятностей в последовательных и параллельных схемах соединения объектов (станций).

Граф железнодорожного узла отражает вид узловых соединений, а теория вероятностей – надежность работы. При последовательном соединении надежности  $p_1, p_2, \dots, p_n$  блоков приводят к следующей надежности  $P$  системы [13, 57]:

$$P = p_1 \cdot p_2 \cdots p_n \quad (3.1)$$

в случае параллельного соединения – к следующей надежности  $P'$  системы:

$$P' = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2) \cdots (1 - p_n) \quad (3.2)$$

Для характеристики степени надежности системы примем вероятности распределения продолжительности интервалов времени между поступлением заявок (прибытием поездов) объектов узла на обслуживание и временем безотказной работы всей системы, которые подчиняются закону Пуассона и имеют экспоненциальное распределение. Так как блоки системы отказывают независимо друг от друга, время безотказной работы  $r$ -го блока при  $r = 1, 2, \dots, n$  имеет экспоненциальное распределение  $E(\lambda_r)$  с заданным параметром  $\lambda_r$  [15, 72, 131].

Функция времени безотказной работы  $R(t)$  как некоторой случайной величины  $\xi$  – времени безотказной работы технического устройства:

$$R(t) = P(\xi > t), \text{ при } t \geq 0. \quad (3.3)$$

Если принять  $\xi \sim E(\lambda_r)$ , то:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.4)$$

Так как  $\xi = \min\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n\}$  для всякого  $t > 0$  –  $P(\xi > t) = P(\xi_1 > t) \cdot P(\xi_2 > t) \cdots P(\xi_n > t)$ , то с учетом вышесказанного вероятность разрывов между поступлениями заявок для последовательно соединенных объектов равна:

$$R(t) = P(\xi > t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdots e^{-\lambda_n t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} \quad (3.5)$$

где  $\lambda t$  – среднее прибытие за время  $t$ .

Для параллельно соединенных объектов в транспортной системе узла:

$$R'(t) = P'(\xi > t) = 1 - P(\xi < t) = 1 - P(\xi_1 < t, \xi_2 < t, \dots, \xi_n < t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n \quad (3.6)$$

В виде графов выполнена визуализация узловых инфраструктур основных железнодорожных узлов Северо-Кавказской железной дороги (рис. 3.1-3.2): Ростовского («Р»), Батайского («Б»), Таганрогского («Т»), Лиховского («Л»), Минераловодского («М»), Прохладнинского («П»), Гудермесского

(«Г»), Махачкалинского («Ч»), Краснодарского («К»), Кавказского («З»), Тихорецкого («Х»), Новороссийского («Н»), Крымского («С»), Туапсинского («Ш»), Белореченского («А»), Сочинского («И»), Тимашевского («Е»). Рассмотрены также узлы других дорог - Череповецкий («Ц») и Вологодский («В»). Одновременно, для количественной оценки меры сложности узла разработаны вероятностные модели узловых инфраструктур. Визуализация всех рассматриваемых железнодорожных узлов представлена в приложении 2.

Путевое развитие железнодорожных устройств узла должно удовлетворять условиям минимума пробегов поездов, оптимальной потребности в подвижном составе, локомотивах и рабочем персонале, обеспечивать наименьшее время оборота подвижного состава, удобство связи внутризаводских путей и линий (станций) общего пользования.

При этом некоторые узловые станции являются стыковыми пунктами между транспортом общего пользования и внутризаводским (железнодорожным и другими видами транспорта). Многообразие функций железнодорожных станций узла, тесная связь с предприятиями различных отраслей народного хозяйства «размывают» границы уровней схемной топологии. В таблице 3.1 приведены сводные показатели железнодорожной инфраструктуры исследуемых узлов.

Одним из основных недостатков существующих станций большинства небольших региональных и промышленных узлов является отсутствие современных технических средств, используемых при расформировании и формировании составов, сортировочная работа выполняется, в основном, толчками с использованием силы тяги маневрового локомотива и тормозных башмаков.

| Наименование узла | Схема узла | Граф узла | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла |
|-------------------|------------|-----------|---------------------------|------------------------|
| P                 |            |           |                           |                        |

Рисунок 3.1 – Примеры схем, графов, вероятностных моделей и матриц смежности железнодорожных узлов «Р» и «Т»



Таблица 3.1 – Инфраструктурные показатели узлов

| Наименование узла | Количество станций | Протяженность главных путей узла, км | Приемо-отправочные пути | Сортировочные пути |
|-------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Р                 | 10                 | 62                                   | 64                      | 59                 |
| Б                 | 7                  | 296                                  | 74                      | 62                 |
| Т                 | 8                  | 104                                  | 33                      | 25                 |
| Л                 | 9                  | 99                                   | 98                      | 34                 |
| М                 | 10                 | 151                                  | 57                      | 20                 |
| П                 | 12                 | 206                                  | 52                      | 27                 |
| Г                 | 13                 | 225                                  | 65                      | 19                 |
| Ч                 | 6                  | 90                                   | 39                      | 31                 |
| К                 | 9                  | 80                                   | 50                      | 47                 |
| З                 | 12                 | 142                                  | 97                      | 33                 |
| Х                 | 7                  | 64                                   | 64                      | 31                 |
| Н                 | 4                  | 37                                   | 30                      | 45                 |
| С                 | 12                 | 246                                  | 45                      | 25                 |
| Ш                 | 6                  | 49                                   | 31                      | 8                  |
| А                 | 10                 | 133                                  | 50                      | 12                 |
| И                 | 8                  | 83                                   | 48                      | 0                  |
| Е                 | 10                 | 251                                  | 50                      | 18                 |
| В                 | 3                  | 11                                   | 66                      | 55                 |
| Ц                 | 4                  | 15                                   | 42                      | 48                 |

В современных условиях эксплуатации перевозки грузов и пассажиров часто имеют сезонный характер, а форс-мажорные и кризисные явления снижают показатели работы транспорта и использования узловой инфраструктуры, то эффективность схем узлов следует оценивать максимальной пропускной способностью с учетом лимитирующих участков.

Наличная пропускная способность узла определяется наиболее вероятным числом грузовых поездов (отдельно без переработки и с переработкой) и заданным числом пассажирских поездов, которые могут быть пропущены узлом за сутки по всем примыкающим к нему направлениям в зависимости от его технического оснащения при условиях работы, обеспечивающих полное

использование имеющихся средств с учетом неизбежных потерь из-за пропуска пассажирских и сборных поездов, враждебности маршрутов и др.

Пропускную способность узла можно определить в соответствии с рекомендациями Инструкций [36, 41]:

$$N = \frac{1440 \cdot \alpha_n \cdot \beta \cdot m - \sum T_{\text{норм}}}{t_{\text{зан}} \cdot (1 + \rho)}, \text{ поездов/сут.} \quad (3.7)$$

где  $\alpha_n=0,5$  – коэффициент, учитывающий влияние движения пассажирских и сборных поездов на степень использования путей;

$\beta$  – коэффициент, равный единице при расчете для транзитных поездов без переработки;

$m$  – число путей в парках приема (отправления) поездов;

$\sum T_{\text{норм}} = 150$  – время занятия пути в течение суток для выполнения постоянных независимых от размеров движения операций, мин;

$t_{\text{зан}}$  – средневзвешенное время занятия пути одним поездом по технологическому процессу, мин.;

$\rho = 0,4$  – коэффициент, учитывающий влияние колебаний потоков, отказов технических устройств, взаимовлияние смежных устройств и других объективных факторов.

Данные о теоретической пропускной способности станций узлов сведены в табл. 3.2 и подтверждают известные утверждения, что максимальную пропускную способность имеют крупные узлы комбинированного типа (Р, Б) или узлы последовательного типа с региональной сортировочной станцией (Л, В, Х).

Таблица 3.2 – Теоретическая пропускная способность железнодорожных узлов

| Узел | m  | $\alpha$ | $\beta$ | $\Sigma T_{\text{пост}}$ | $t_{\text{по}}$ | $\rho$ | N   |
|------|----|----------|---------|--------------------------|-----------------|--------|-----|
| Р    | 64 | 0,5      | 1       | 150                      | 54              | 0,4    | 608 |
| Б    | 74 | 0,5      | 1       | 150                      | 75              | 0,4    | 506 |
| Т    | 33 | 0,5      | 1       | 150                      | 102             | 0,4    | 165 |
| Л    | 98 | 0,5      | 1       | 150                      | 78              | 0,4    | 645 |
| М    | 57 | 0,5      | 1       | 150                      | 84              | 0,4    | 348 |
| П    | 52 | 0,5      | 1       | 150                      | 90              | 0,4    | 296 |
| Г    | 65 | 0,5      | 1       | 150                      | 102             | 0,4    | 327 |
| Ч    | 39 | 0,5      | 1       | 150                      | 114             | 0,4    | 175 |
| К    | 50 | 0,5      | 1       | 150                      | 65              | 0,4    | 394 |
| З    | 97 | 0,5      | 1       | 150                      | 55              | 0,4    | 905 |
| Х    | 64 | 0,5      | 1       | 150                      | 40              | 0,4    | 820 |
| Н    | 30 | 0,5      | 1       | 150                      | 92              | 0,4    | 167 |
| С    | 45 | 0,5      | 1       | 150                      | 45              | 0,4    | 512 |
| Ш    | 31 | 0,5      | 1       | 150                      | 64              | 0,4    | 247 |
| А    | 50 | 0,5      | 1       | 150                      | 68              | 0,4    | 377 |
| И    | 48 | 0,5      | 1       | 150                      | 54              | 0,4    | 455 |
| Е    | 50 | 0,5      | 1       | 150                      | 67              | 0,4    | 382 |
| В    | 66 | 0,5      | 1       | 150                      | 52              | 0,4    | 651 |
| Ц    | 42 | 0,5      | 1       | 150                      | 64              | 0,4    | 336 |

### 3.2. Энтропийный подход к оценке уровня организации транспортно-технологических процессов узлов

Железнодорожный узел характеризуется большой степенью сложности транспортно-технологических процессов, определяемых многообразием формирующих элементов и подсистем, функционирование которых связано с наличием элементов случайности.

Сложность узла определяется числом станций; мощностью транспортных потоков, обслуживаемых ими; разветвленностью технологических свя-

зей между станциями и степенью их взаимодействия; удобствами эксплуатации; квалификацией персонала, обслуживающего схему управления узлом и т.д.

Для количественной оценки сложности железнодорожного узла используется состояние порогового значения мощности системы, которое можно описать вероятностными показателями происходящих в ней процессов перехода в новое качественное состояние [78, 118, 133]. Уровень организации транспортной системы или ее «избыточность» равна:

$$R = 1 - \frac{H}{H_{max}} \quad (3.8)$$

где  $R$  – уровень относительной организации системы или «избыточность»;  
 $H$  – текущее значение неопределенности системы;  
 $H_{max}$  – максимально возможная неопределенность системы.

Понятие «относительная организация»  $R$  позволяет сравнивать уровни организации систем, имеющих различные структурные и функциональные возможности.

Изменение уровня организации системы характеризуется изменением ее неопределенности, мерой степени которой может быть принята энтропия, определяемая по формуле:

$$H = - \sum_{i=1}^n P(A_i) \log_a P(A_i). \quad (3.9)$$

где  $A_i$  – состояние системы;  
 $P(A_i)$  – вероятностный показатель состояния системы ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  
 $n$  – количество возможных состояний системы;  
 $a$  – основание логарифма,  $a = 2$ .

Каждую подсистему можно характеризовать энтропией двух случаев: вероятностью безотказной работы  $p$  и вероятностью отказа (задержек)  $q = 1 - p$ .

$$H = -(p \cdot \log_a p + q \cdot \log_a q) \quad (3.10)$$

Для узловой системы, состоящей из ряда зависимых подсистем, энтропия равна сумме энтропии одной из составных подсистем и условных энтропий остальных подсистем:

$$H(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{js}) \quad (3.11)$$

$$H(x_j) + H(x_{j2} | x_{j1}) + H(x_{j3} | x_{j1}, x_{j2}) + \dots + H(x_{js} | x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{j(s-1)}) \quad (3.12)$$

где  $j$  – индекс соответствующей подсистемы;

$H(x_{j2} | x_{j1}), H(x_{j3} | x_{j1}, x_{j2}), \dots, H(x_{js} | x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{j(s-1)})$  – условные энтропии внутренних системных элементов  $j$ -подсистемы.

Максимальная неопределенность системы равна:

$$H_{max} = \log_a n \quad (3.13)$$

Для полностью детерминированной системы, т.е. обеспечивающей ритмичность переработки транспортных средств и минимум непроизводительных простоев,  $H = 0$ . Такая система обладает максимальной относительной организацией, равной  $R = 1$ . Если система полностью дезорганизована, т.е. превышено пороговое значение мощности транспортной системы,  $H = H_{max}$  ее относительная организация равна нулю ( $R = 0$ ). Следовательно, значения относительной организации находятся в пределах  $0 \leq R < 1$

Как отмечается в работах [22, 81], проблемы эксплуатационной надежности узлов еще не получили должного и всестороннего развития вследствие особой специфики узлов и их технических устройств.

Методы теории надежности оперируют понятиями: среднее время отказа; среднее время безотказной работы; среднее время восстановления; среднее время задержки одной транспортной единицы; вероятность безотказной работы; вероятность отказа и др.

Для характеристики эксплуатационной надежности узла по типу транспортных связей использована теория вероятностей в последовательных и параллельных схемах соединения узловых объектов.

При последовательном соединении надежности  $p_1, p_2, \dots, p_n$  блоков приводят к следующей надежности  $P$  системы [13, 57]:  $P = p_1 \cdot p_2 \cdots p_n$ .

В случае параллельного соединения – к следующей надежности  $P'$  системы:  $P' = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdots (1 - p_n)$ .

Для характеристики степени надежности системы примем вероятности распределения продолжительности интервалов времени между поступлением заявок (прибытием подвижного состава) объектов узла на обслуживание и временем безотказной работы всей системы, которые подчиняются закону Пуассона и имеют экспоненциальное распределение [58, 72]. Так как блоки системы отказывают независимо друг от друга, время безотказной работы  $r$ -го блока при  $r = 1, 2, \dots, n$  имеет экспоненциальное распределение  $E(\lambda_r)$  с заданным параметром  $\lambda_r$ .

Рассмотрим функцию времени безотказной работы  $R(t)$  как некоторой случайной величины  $\xi$  – времени безотказной работы технического устройства в целом:  $R(t) = P(\xi > t)$ , при  $t \geq 0$ . Если принять  $\xi \sim E(\lambda_r)$ , то

$R(t) = e^{-\lambda t}$ . Так как  $\xi = \min\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n\}$  и для всякого  $t > 0$ ,  $P(\xi > t) = P(\xi_1 > t) \cdot P(\xi_2 > t) \cdots P(\xi_n > t)$ , то с учетом вышесказанного вероятность разрывов между поступлениями заявок для последовательно соединенных объектов равна  $R(t) = P(\xi > t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdots e^{-\lambda_n t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_n)t}$ , где  $\lambda t$  – среднее прибытие заявок за время  $t$ .

Время безотказной работы такой системы равно  $T = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_n}$ .

Для параллельно соединенных объектов в транспортной системе узла:

$$R'(t) = P'(\xi > t) = 1 - P(\xi < t) = 1 - P(\xi_1 < t, \xi_2 < t, \dots, \xi_n < t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n.$$

Зная средний срок  $1/\lambda$  безотказной работы отдельного блока, получаем средний срок безотказной службы всей системы [58]  $T = 1/\lambda (1 + 1/2 + 1/3 + \cdots + 1/n) \approx 1/\lambda (\ln n + C)$ , где  $C = 0,5772$  – постоянная Эйлера.

Из данной зависимости следует, что увеличение количества параллельно работающих связей (путей) может оказаться неоправданным. При увеличении количества станций, расположенных между отправителями и получа-

телями грузов, возрастает величина средней задержки поставки груза по причине уменьшения надежности, что вызывает рост приведенных затрат. Поэтому вопрос насыщения узловой инфраструктуры должен решаться комплексно на основе технико-экономического обоснования.

Рассмотрим пример расчета вероятностей безотказной работы и уровня организации узлов (табл. 3.3 – 3.4).

В качестве размеров среднего прибытия за время  $t$  примем максимальную теоретическую емкостную характеристику станционных путей (количество условных вагонов, которые можно разместить на них теоретически) отдельных пунктов, определяемую по формуле [111, 112, 125]:

$$N_{max} = \frac{m \cdot L}{l_{ваг}}, \text{ ваг} \quad (3.14)$$

где  $m$  – число путей (приемоотправочных и сортировочных);

$L = 850$  м – полезная длина путей;

$l_{ваг} = 15$  м – условная длина вагона.

Таблица 3.3 – Максимальная теоретическая емкостная характеристика отдельных пунктов и их вероятность безотказной работы для узла «Р»

| Раздельный пункт | $N_{max} \cdot 10^{-3}$ | $P = e^{-\lambda t}$ |
|------------------|-------------------------|----------------------|
| Узел «Р»         |                         |                      |
| Пр.С1            | 0,623                   | 0,54                 |
| Р1               | 0,057                   | 0,95                 |
| ГС1              | 1,077                   | 0,34                 |
| ГС2              | 0,340                   | 0,71                 |
| Р2               | 0,000                   | 0,99                 |
| ПС               | 1,020                   | 0,36                 |
| ГС3              | 1,360                   | 0,26                 |
| ГС4              | 1,133                   | 0,32                 |
| ОП1              | 0,057                   | 0,95                 |
| Пр.С2            | 0,170                   | 0,84                 |

Для узла «Р» расчетные формулы имеют вид:

$$P = [P_3 \cdot P_5 \cdot P_8 \cdot P_2] \cdot [1 - (1 - P_6) \cdot (1 - P_9)] \cdot [1 - (1 - P_1 \cdot P_4) \cdot (1 - P_7 \cdot P_{10})];$$

$$P = [0,34 \cdot 0,99 \cdot 0,32 \cdot 0,95] \cdot [1 - (1 - 0,36) \cdot (1 - 0,95)] \cdot [1 - (1 - 0,54 \cdot 0,71) \cdot (1 - 0,26 \cdot 0,84)] = 0,02;$$

$$H = -(0,02 \cdot \log_2 0,02 + 0,98 \cdot \log_2 0,98) = -\left(0,02 \cdot \frac{\lg 0,02}{\lg 2} + 0,98 \cdot \frac{\lg 0,98}{\lg 2}\right) = 0,12;$$

$$H_{max} = \log_2 10 = \frac{\lg 10}{\lg 2} = 3,32;$$

$$R = 1 - \frac{0,12}{3,32} = 0,963.$$

Таблица 3.4 – Ведомость расчета уровней организации транспортно-технологических процессов узлов

| Узел | $\frac{p = e^{-\lambda t}}{q = (1 - e^{-\lambda t})}$ | $H/H_{max}$ | $R$   |
|------|-------------------------------------------------------|-------------|-------|
| Р    | 0,02/0,98                                             | 0,12/3,32   | 0,963 |
| Б    | 0,01/0,99                                             | 0,05/2,81   | 0,982 |
| Т    | 0,09/0,91                                             | 0,45/3      | 0,851 |
| Л    | 0,01/0,99                                             | 0,08/3,17   | 0,975 |
| М    | 0,01/0,99                                             | 0,10/3,32   | 0,970 |
| П    | 0,01/0,99                                             | 0,09/3,58   | 0,974 |
| Г    | 0,01/0,99                                             | 0,07/3,7    | 0,980 |
| Ч    | 0,02/0,98                                             | 0,14/2,58   | 0,946 |
| К    | 0,27/0,73                                             | 0,85/3,17   | 0,733 |
| З    | 0,01/0,99                                             | 0,08/3,46   | 0,977 |
| Х    | 0,01/0,99                                             | 0,08/2,81   | 0,971 |
| Н    | 0,01/0,99                                             | 0,11/2,00   | 0,945 |
| С    | 0,04/0,96                                             | 0,26/3,58   | 0,927 |
| Ш    | 0,11/0,89                                             | 0,5/2,58    | 0,805 |
| А    | 0,03/0,97                                             | 0,2/3,32    | 0,941 |
| И    | 0,09/0,91                                             | 0,44/3,00   | 0,852 |
| Е    | 0,02/0,98                                             | 0,15/3,32   | 0,954 |
| В    | 0,001/0,999                                           | 0,01/1,58   | 0,992 |
| Ц    | 0,01/0,99                                             | 0,06/2,00   | 0,972 |

Из табл. 3.4 следует, что уровень организации транспортно-технологических процессов узлов составляет от 0,733 до 0,992. Наименьшее

значение он принимает в припортовых узлах (И, Т, Ш) и в узле К с наибольшим количеством параллельно работающих блоков (числом внутриузловых соединений) (рис. 3.3).

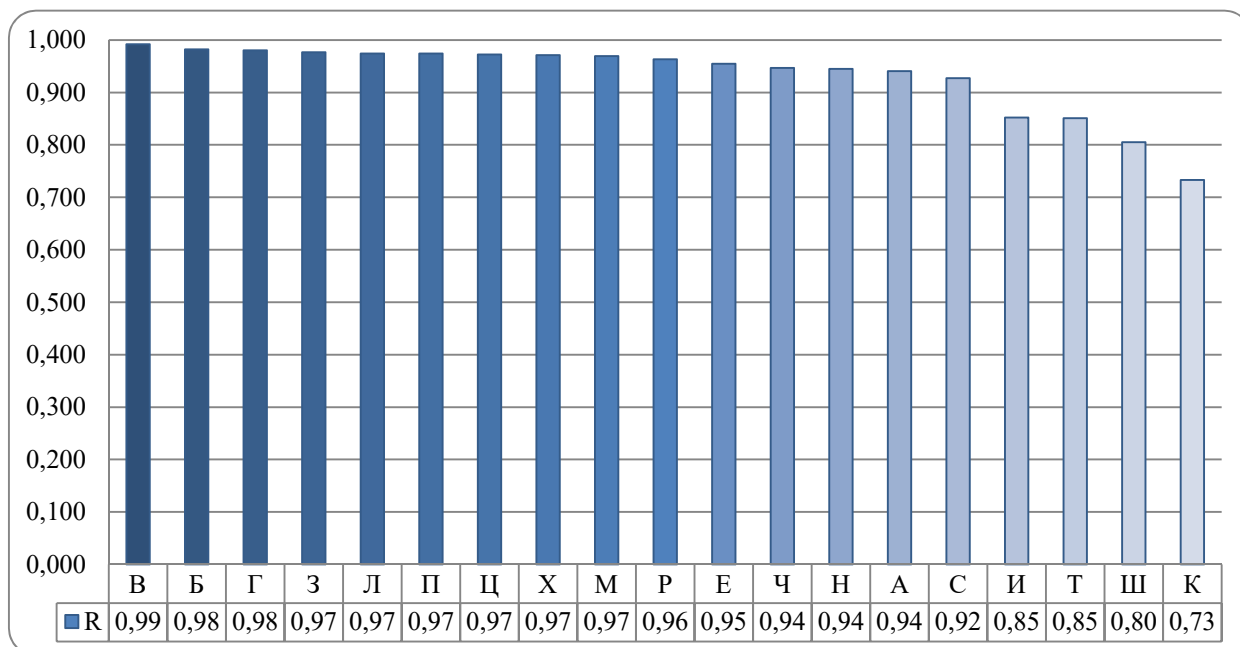


Рисунок 3.3 – Диаграмма уровней организации железнодорожных узлов

Данные расчеты позволяют выявить «узкие» места в формировании структуры узлов при насыщении ее транспортными связями и возможном увеличении пропускаемых поездопотоков. Стоит отметить, что важное место в повышении надежности работы железнодорожного узла также имеют внедряемые единые технологические процессы взаимодействия узловых станций примыкания и подъездных путей предприятий в увязке с другими видами транспорта на основе контактных графиков, единых смен работы погрузочно-разгрузочных фронтов, машин и механизмов и информационного обеспечения перевозок.

### 3.3. Графоаналитическая оценка устойчивости узловых структур

Для оценки структур схем исследуемых железнодорожных узлов были использованы известные характеристики планарных графов: связанность, достижимость, устойчивость (внутренняя и внешняя). Для численного выражения значений данных параметров введены их коэффициенты [96, 107, 117].

Коэффициент связности  $K_s$  узла рассчитывается по формуле:

$$K_s = \frac{\sum \deg x_i}{n}, \quad (3.15)$$

где  $\sum \deg x_i$  – сумма степеней (связей) всех вершин  $X$  (станций) графа (узла);

$n$  – количество всех станций узла.

Степенью  $i$ -ой станции узла  $\deg x_i$  называется число связей  $A$ , инцидентных этому отдельному пункту. При этом станция, имеющая степень 1, является «висячей» (тупиковая станция).

Коэффициент связности также может быть определен как отношение удвоенной суммы всех связей узла. Так как каждый перегон ограничивают два отдельных пункта, то общее число связей увеличивается вдвое к числу его отдельных пунктов.

Максимальное значение коэффициента связности  $K_s$  равно  $K_s = n - 1$ , то есть достигается при полном  $n$ -элементном узле, в котором все станции связаны друг с другом.

Удаление каких-либо связей между станциями влечет уменьшение соответствующего коэффициента связности. Таким образом, коэффициент связности характеризует насыщенность узла связями, его «прочность» по отношению к возможным внешним воздействиям.

Коэффициент достижимости  $K_d$  узла рассчитывается по формуле:

$$K_d = \frac{\sum_{i=1}^n dx_{ij}}{n_i \cdot n_j - n}, \quad (3.16)$$

где  $\sum_1^n dx_{ij}$  – общая длина всех маршрутов узла (количество транзитных перегонов на маршруте от пункта  $i$  до пункта  $j$ );

$n_i \cdot n_j - n$  – общее количество возможных вариантов маршрутов.

Маршрутом в теории графов называется такая последовательность (конечная или бесконечная) перегонов  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , что каждые соседние два перегонов  $a_i$  и  $a_{i+1}$  имеют общую инцидентную станцию. Замкнутый маршрут называется циклом. Длиной маршрута называется число перегонов, входящих в маршрут, причем каждый перегон считается столько раз, сколько он входит в данный маршрут.

Коэффициент достижимости  $K_d$  – важная характеристика устройства железнодорожного узла, отражающая скорость взаимодействия между станциями.

Для наглядности в работе рассмотрены примеры расчета коэффициентов узлов «Б» и «Х» с одним и тем же количеством станций, но разным числом связей. На рис. 3.4 приведены разработанные схемы, графы и матрицы смежности железнодорожных узлов «Б» и «Х».

Графы узлов «Б» и «Х» имеют одинаковое количество станций  $n=7$  и разное количество связей  $m_B=8$  и  $m_X=6$  соответственно.

Для расчета коэффициента достижимости составим матрицы достижимости узлов «Б» и «Х», представленные табл. 3.5 – 3.6.

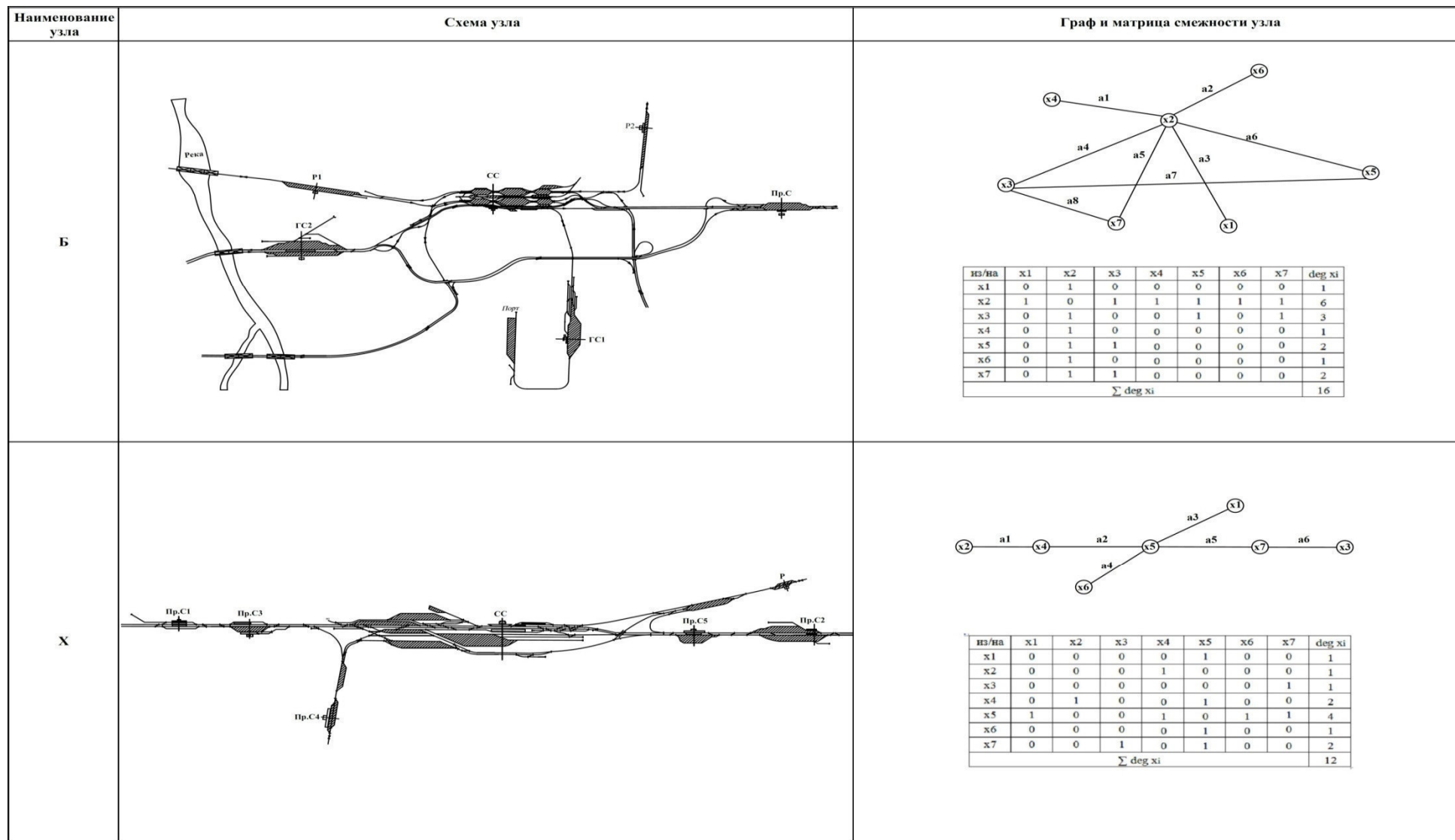


Рисунок 3.4 – Примеры схем, графов и матриц смежности железнодорожных узлов «Б» и «Х»

Таблица 3.5 – Ведомость расчета коэффициента достижимости для узла «Б»

| из/на              | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $\sum_i dx_{ij}$ |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| $x_1$              | 0     | 1     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 11               |
| $x_2$              | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 6                |
| $x_3$              | 2     | 1     | 0     | 2     | 1     | 2     | 1     | 9                |
| $x_4$              | 2     | 1     | 2     | 0     | 2     | 2     | 2     | 11               |
| $x_5$              | 2     | 1     | 1     | 2     | 0     | 2     | 2     | 10               |
| $x_6$              | 2     | 1     | 2     | 2     | 2     | 0     | 2     | 11               |
| $x_7$              | 2     | 1     | 1     | 2     | 2     | 2     | 0     | 10               |
| $\sum_1^n dx_{ij}$ |       |       |       |       |       |       |       | 68               |

Таблица 3.6 – Ведомость расчета коэффициента достижимости для узла «Х»

| из/на              | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $\sum_i dx_{ij}$ |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| $x_1$              | 0     | 3     | 3     | 2     | 1     | 2     | 2     | 13               |
| $x_2$              | 3     | 0     | 4     | 1     | 2     | 3     | 3     | 16               |
| $x_3$              | 3     | 4     | 0     | 3     | 2     | 3     | 1     | 16               |
| $x_4$              | 2     | 1     | 3     | 0     | 1     | 2     | 2     | 11               |
| $x_5$              | 1     | 2     | 2     | 1     | 0     | 1     | 1     | 8                |
| $x_6$              | 2     | 3     | 3     | 2     | 1     | 0     | 2     | 13               |
| $x_7$              | 2     | 3     | 1     | 2     | 1     | 2     | 0     | 11               |
| $\sum_1^n dx_{ij}$ |       |       |       |       |       |       |       | 88               |

Следует отметить, что для  $i$ -ой станции по формуле  $\sum_i dx_{ij} - (n-1)$ , можно определить число транзитных станций, при развозе грузов по всем станциям узла. Таким образом, при длине маршрута между  $i$ -ой и  $j$ -ой станциями, равной 1, поезду не нужно проследовать транзитную станцию.

По значениям длины маршрута  $dx_{ij}$  можно определить является ли станция  $x_i$  центральной ( $dx_i = \min$ ) или периферийной ( $dx_i = \max$ ). Так, напри-

мер, для узла «Б» центральной является станция  $x_2$  ( $\sum^2 dx_{ij} = 6$ ), периферийными –  $x_1, x_4, x_6$  ( $\sum^{1,4,6} dx_{ij} = 11$ ). То есть для развоза груза со станции  $x_2$  на другие станции узла необходимо проследовать 6 перегонов (и ни одной транзитной станции  $\sum^2 dx_{ij} - (n-1) = 6 - (7-1) = 0$ ), для развоза грузов со станций  $x_1$ , или  $x_4$ , или  $x_6$  на другие станции узла нужно пройти 11 перегонов (или 5 транзитных станций  $\sum^{1,4,6} dx_{ij} - (n-1) = 11 - (7-1) = 5$ ). Для узла «Х» центральной является станция  $x_5$  ( $\sum^5 dx_{ij} = 8$ ), периферийными –  $x_2, x_3$  ( $\sum^{2,3} dx_{ij} = 16$ ).

Рассмотрим пример расчета коэффициентов связности и достижимости.

Для узла «Б» они равны:

$$K_s = \frac{16}{7} = 2,29;$$

$$K_d = \frac{68}{7 \cdot 7 - 7} = 1,62.$$

Для узла «Х» они равны:

$$K_s = \frac{12}{7} = 1,71;$$

$$K_d = \frac{88}{7 \cdot 7 - 7} = 2,1.$$

Результаты расчетов коэффициентов для других узлов сведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Ведомость расчета коэффициентов связности и достижимости узлов

| Узел | $m$ | $n$ | $\sum dx_{ij}$ | $K_s$ | $K_d$ |
|------|-----|-----|----------------|-------|-------|
| Р    | 11  | 10  | 242            | 2,2   | 2,69  |
| Б    | 8   | 7   | 68             | 2,29  | 1,62  |
| Т    | 8   | 8   | 144            | 2     | 2,57  |
| Л    | 9   | 9   | 182            | 2     | 2,53  |
| М    | 9   | 10  | 284            | 1,8   | 3,16  |
| П    | 11  | 12  | 404            | 1,83  | 3,06  |
| Г    | 12  | 13  | 560            | 1,85  | 3,59  |
| Ч    | 5   | 6   | 70             | 1,67  | 2,33  |
| К    | 12  | 9   | 146            | 2,67  | 2,03  |
| З    | 11  | 11  | 364            | 2     | 3,31  |
| Х    | 6   | 7   | 88             | 1,71  | 2,10  |
| Н    | 3   | 4   | 20             | 1,5   | 1,67  |
| С    | 12  | 12  | 456            | 2     | 3,45  |
| Ш    | 5   | 6   | 64             | 1,67  | 2,13  |
| А    | 9   | 10  | 282            | 1,8   | 3,13  |
| И    | 8   | 8   | 136            | 2     | 2,43  |
| Е    | 9   | 10  | 292            | 1,8   | 3,24  |
| В    | 2   | 3   | 6              | 1,33  | 1,00  |
| Ц    | 3   | 4   | 20             | 1,5   | 1,67  |

По результатам расчетов (рис. 3.5-3.6) можно сделать вывод, что в замкнутых узловых структурах (кольцевых, комбинированных, радиальных с параллельными и петлевыми ходами) коэффициенты достижимости значительно меньше, чем в узлах без ходов: последовательного, треугольного, крестообразного типа.

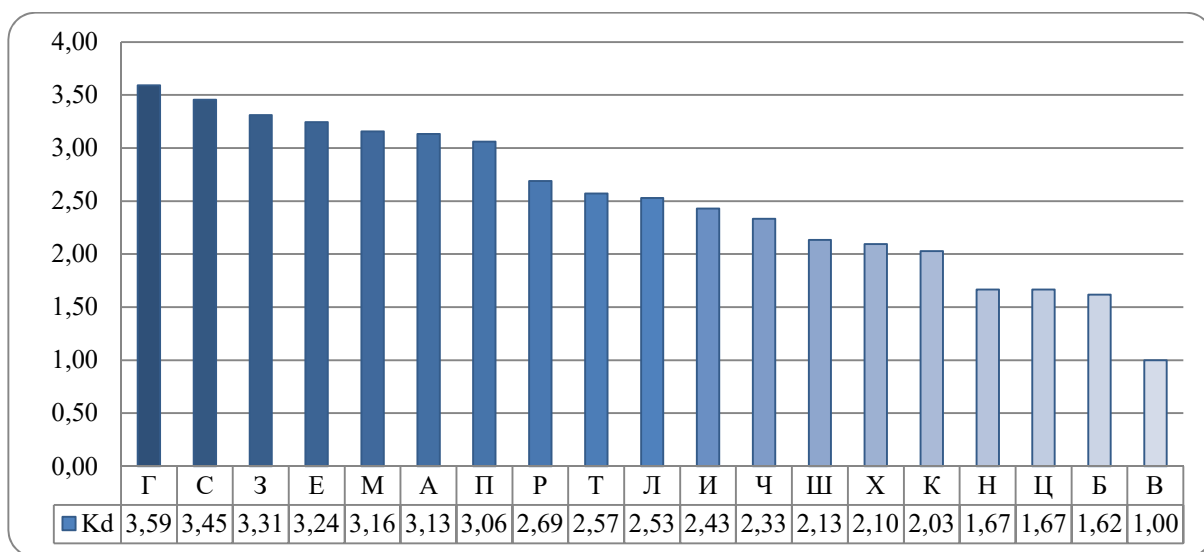


Рисунок 3.5 – Диаграмма коэффициентов достижимости железнодорожных узлов

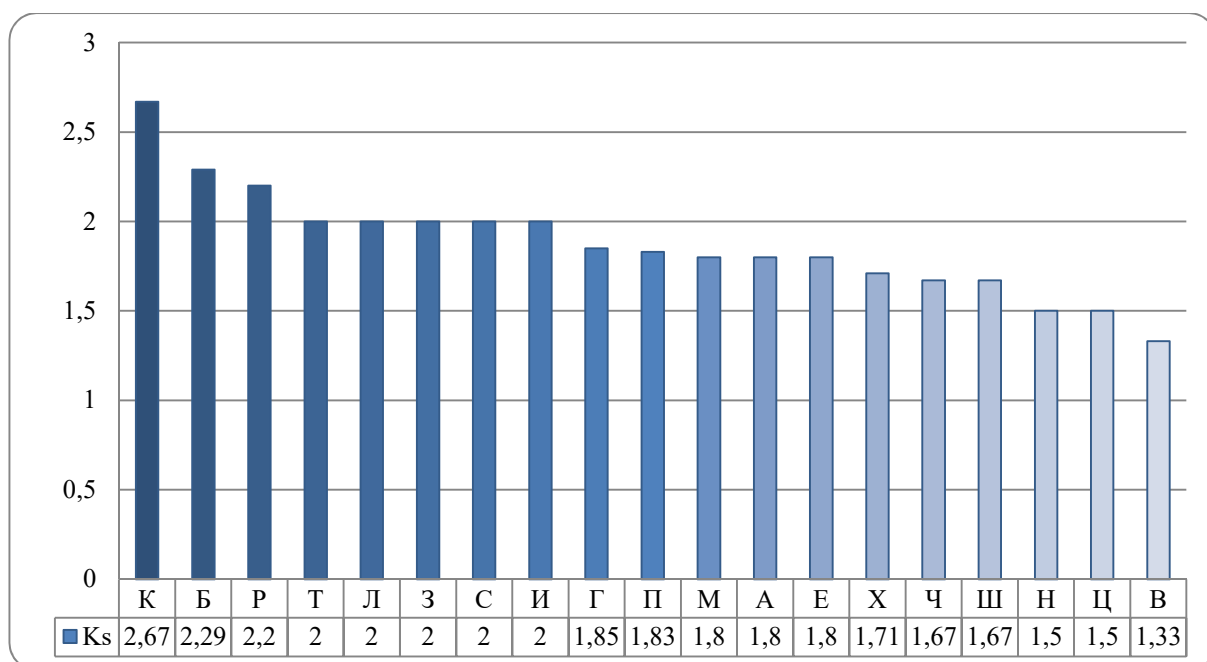


Рисунок 3.6 – Диаграмма коэффициентов связности железнодорожных узлов

При проектировании и эксплуатации любых узловых структур важнейшим критерием является их надежность. В качестве способа измерения надежности предлагается ввести *коэффициент устойчивости узла* -  $K_{уст}$ . Значения коэффициента устойчивости находятся в пределах от 0 до 1, выражая вероятность сохранения работоспособности узловой схемы при различных негативных воздействиях на неё.

Удаление внутриузловых связей может нарушить связность узла – узел распадается на несвязанные компоненты и прекращает выполнять свои транспортные функции. Прочность структуры зависит от различных геометрических и топологических характеристик узла. Узлы различных геометрических конфигураций обладают разной прочностью по отношению к внешним разрушающим воздействиям. Для разрушения узла последовательного типа достаточно случайного удаления всего одной связи, в то время как разрушение даже нескольких связей узла кольцевого или комбинированного типа не приведет к полному распаду узла.

Оценка устойчивости  $K_{уст}$  сети зависит от двух основных коэффициентов: коэффициента внешней устойчивости  $K_{внеш}$  и коэффициента собственной

внутренней устойчивости (организованности) узла  $K_{внутр}$ . Так как потеря устойчивости внутренней или внешней приведет к разрушению узла, то значение коэффициента устойчивости равно:

$$K_{уст} = \min \{ K_{внутр}; K_{внеш} \} \quad (3.17)$$

В качестве коэффициента внутренней устойчивости узла примем уровень организации узловой транспортной структуры (системы) или ее «избыточность», определенному в пункте 3.2 диссертации.

Для оценки внешней устойчивости узла рассмотрим вероятность сохранения связности при внешнем воздействии на узел (авария, стихийное бедствие, форс-мажор), заключающемся в удалении или разрушении внутри-узловых связей (ж.-д. станции, соединительные линии).

Для расчета коэффициента внешней устойчивости примем вероятность нарушения работы одного из  $a_i$ -ребер (перегона) узла  $q=0,01$  [107], тогда вероятность функционирования перегона железнодорожного узла без нарушений составит  $p=1-0,01=0,99$ .

Рассмотрим пример определения коэффициента устойчивости для узлов «Б» и «Х».

Граф узла «Б» комбинированного типа (рис. 3.4) имеет цикл  $a4-a5-a8-a6-a7$  и цепь  $a1-a2-a3$ . Предлагается разбить граф узла «Б» на два подграфа. Подграфом графа  $G$  называется граф, все вершины и ребра которого содержатся среди вершин и ребер графа  $G$ . Одним из подграфов будет соответственно цепь  $a1-a2-a3$ , другим подграфом - цикл  $a4-a5-a8-a6-a7$  (рис. 3.7).

Подграф  $a1-a2-a3$  является деревом – связным графом с  $n=4$  вершинами и  $m=3$  ( $n-1$ ) ребрами без циклов. Удаление любой связи приведет к разрушению структуры. Сеть устойчива лишь при функционировании всех ребер, такое состояние системы единично. Вероятность такого события равна [13, 77]:

$$K_{внеш}^{a1-a2-a3} = p^m = 0,99^3 = 0,97$$

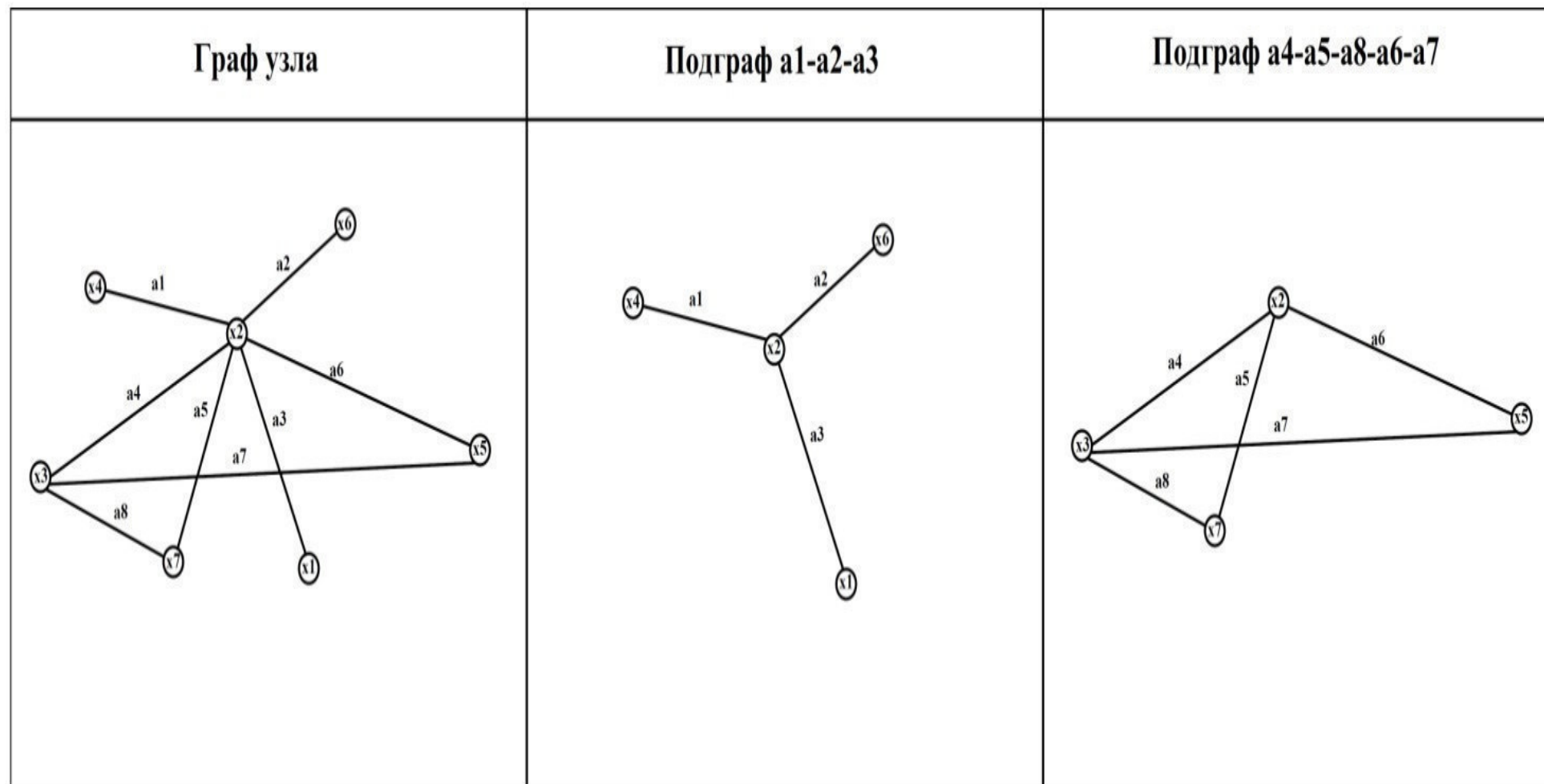


Рисунок 3.7 – Разбивка графа узла «Б» на два подграфа

Подграф  $a4-a5-a8-a6-a7$  является циклом. Для расчета устойчивости нужно определить, какое число перегонов необходимо разрушить, чтобы получить цепь.

Остовным деревом связного графа называется любой его подграф, содержащий все вершины графа и являющийся деревом. Любое остовное дерево графа получается из этого графа в результате удаления  $m-(n-1)=m-n+1$  ребер. Число  $\gamma = m-n+1$  называется цикломатическим числом графа [17].

Определим цикломатическое число подграфа  $a4-a5-a8-a6-a7$ . При  $m=5$  и  $n=4$ :

$$\gamma = 5 - 4 + 1 = 2.$$

После разрушения 2 ребер данный цикл превратится в остовное дерево. Так как для остовного дерева любое удаление связи ведет к деорганизации сети, то  $\gamma=2$  – это максимально допустимое число разрушенных ребер, при котором схема узла продолжит работать.

Рассмотрим все варианты, при которых узел функционирует:

1. Когда на узел не оказывается внешнее воздействие  $\gamma=0$ :

$$K_{\text{внеш}}^{\gamma=0} = p^m = 0,99^5 = 0,951$$

2. Когда одно из ребер разрушено  $\gamma=1$ . Число таких вариантов равно числу ребер  $m=5$ . При разрушении любой из 5 связей подграф не потеряет своей связности, тогда:

$$K_{\text{внеш}}^{\gamma=1} = m \cdot p^{m-1} \cdot q^1 = 5 \cdot 0,99^4 \cdot 0,01^1 = 0,048$$

3. Когда два ребра разрушено  $\gamma=2$ . Число таких вариантов равно  $(m-1)+(m-2)+\dots+(m-(m-1))$ . При этом следует отметить, что вершины  $x7$  и  $x5$  имеют степень, равную 2. При разрыве 2 ребер, инцидентных данным вершинам, эти вершины станут изолированными, что приведет к распаду сети. Учитывая это устойчивость по третьему варианту равна:

$$K_{\text{внеш}}^{\gamma=2} = (m-1)+(m-2)+\dots+(m-(m-1))-2 \cdot p^{m-2} \cdot q^2$$

$$K_{\text{внеш}}^{\gamma=2} = 4+3+2+1-2 \cdot 0,99^3 \cdot 0,01^2 = 0,0008$$

Разрыв трех и более ребер ведет к потере связности графом.

Коэффициент внешней устойчивости подграфа а4-а5-а8-а6-а7 равен:

$$K_{\text{внеш}}^{a4-a5-a8-a6-a7} = K_{\text{внеш}}^{y=0} + K_{\text{внеш}}^{y=1} + K_{\text{внеш}}^{y=2} = 0,951 + 0,048 + 0,0008 = 0,9998$$

Коэффициент внешней устойчивости узла «Б» равен произведению устойчивости подграфов

$$K_{\text{внеш}}^B = K_{\text{внеш}}^{a1-a2-a3} \cdot K_{\text{внеш}}^{a4-a5-a8-a6-a7} = 0,97 \cdot 0,9998 = 0,97$$

Граф узла «Х» является деревом - связным графом с  $n=7$  вершинами и  $m=6$  ( $n-1$ ) ребрами без циклов. Для разрушения данной сети, достаточно случайного выхода из строя всего одного перегона, т.е. она будет устойчивой только при функционировании всех перегонов:

$$K_{\text{внеш}}^X = p^m = 0,99^6 = 0,941$$

Коэффициент устойчивости для узлов «Б» и «Х» будет равен:

- для «Б»  $K_{\text{уст}}^B = \min\{0,982; 0,970\} = 0,97$  ;

- для «Х»  $K_{\text{уст}}^X = \min\{0,971; 0,941\} = 0,941$

Результаты расчетов коэффициентов устойчивости сведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8 – Ведомость расчета коэффициента устойчивости железнодорожных узлов

| Узел | $K_{\text{внутр}}$ | $K_{\text{внеш}}$ | $K_{\text{уст}}$ |
|------|--------------------|-------------------|------------------|
| 1    | 2                  | 3                 | 4                |
| Р    | 0,963              | 0,969             | 0,963            |
| Б    | 0,982              | 0,970             | 0,970            |
| Т    | 0,851              | 0,951             | 0,851            |
| Л    | 0,975              | 0,941             | 0,941            |
| М    | 0,970              | 0,914             | 0,914            |
| П    | 0,974              | 0,895             | 0,895            |
| Г    | 0,980              | 0,886             | 0,886            |
| Ч    | 0,946              | 0,951             | 0,946            |
| К    | 0,733              | 0,989             | 0,733            |
| З    | 0,977              | 0,922             | 0,922            |
| Х    | 0,971              | 0,941             | 0,941            |
| Н    | 0,945              | 0,970             | 0,945            |

Продолжение табл. 3.8

| 1 | 2     | 3     | 4     |
|---|-------|-------|-------|
| С | 0,927 | 0,913 | 0,913 |
| Ш | 0,805 | 0,951 | 0,805 |
| А | 0,941 | 0,914 | 0,914 |
| И | 0,852 | 0,951 | 0,852 |
| Е | 0,954 | 0,914 | 0,914 |
| В | 0,992 | 0,980 | 0,980 |
| Ц | 0,972 | 0,970 | 0,970 |

Из табл. 3.8 следует, что коэффициенты устойчивости узлов варьируются от 0,733 до 0,98. Сравнительный анализ внутренней и внешней устойчивости сети поможет определить рациональную степень насыщения узла параллельными транспортными связями. С одной стороны, увеличение внутриузловых связей способствует повышению коэффициента связности, уменьшает коэффициент достижимости (сокращает количество транзитных пунктов между отправителем и получателем). Но не всегда большое количество параллельно работающих блоков оправдано. Как отмечалось в статье [125], в определенный момент при увеличении связей (например, при цикломатическом числе графа узла  $\gamma = m - n + 1 = 3$  и более) увеличивается энтропия системы, а, следовательно, падает уровень организации сети. Стоит отметить, что значительное количество станций (более 10) в узле, расположенных между отправителями и получателями грузов, приводит к возрастанию величины средней задержки поставки груза по причине уменьшения надежности (внешней устойчивости).

Оценка численных значений коэффициентов внутренней и внешней устойчивости позволит судить о необходимости строительства новых или реконструкции существующих железнодорожных линий.

Рассмотрим два «крайних» варианта схемных решений узловых структур. Узел «К» имеет 4 цикла (наибольшее число циклов среди рассматриваемых вариантов) и с коэффициентом связности  $K_s = 2,67$  обладает самой высокой внешней устойчивостью – 0,989, в тоже время узел «К» имеет самый

низкий уровень организации – 0,733 (внутренней устойчивости), что делает данную сеть самой неустойчивой в целом среди рассматриваемых. Обратным примером служит узел «Г» (самое большое количество вершин - 13 и полное отсутствие параллельных ходов), который при высокой внутренней устойчивости – 0,98, обладает самой малой внешней устойчивостью - 0,886.

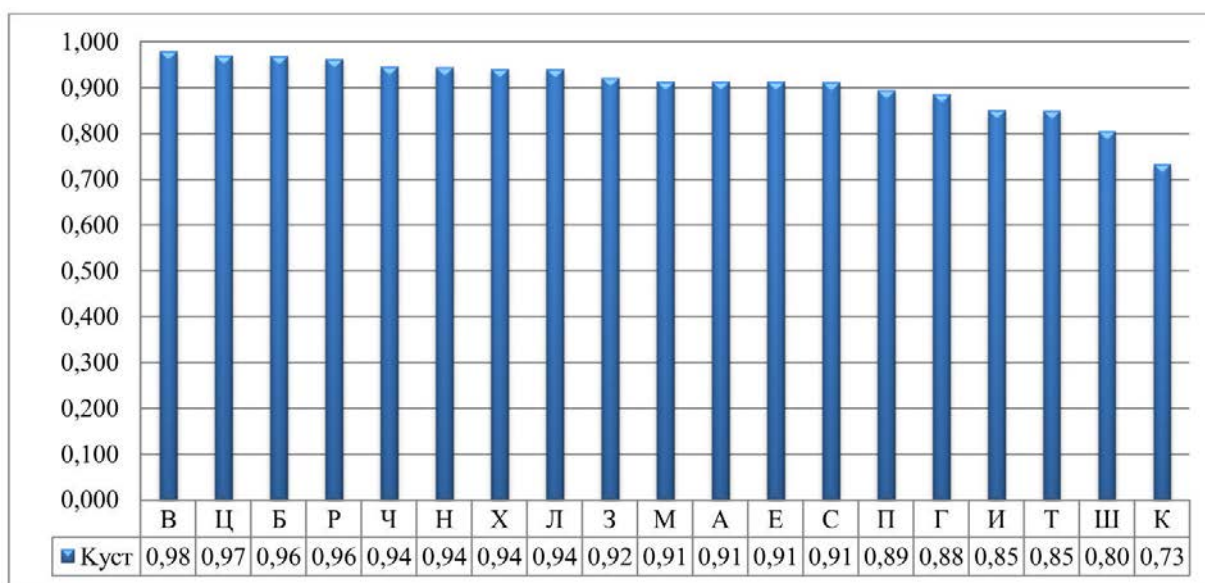


Рисунок 3.8 – Диаграмма коэффициентов устойчивости узловых структур

Наилучшими же показателями устойчивости обладают либо узлы с небольшим числом станций без циклов – «В» и «Ц» - последовательного типа, либо узлы, обладающие сбалансированным сочетанием количества станций и замкнутых маршрутов (по 2) – «Р» и «Б» - комбинированного типа (рис. 3.8).

### 3.4 Система модифицированных показателей оценки степени организации узлового транспортного производства

В отечественной транспортной науке оценка структур и уровней транспортно-технологической организации 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 схем и транспортной

работы. Следует отметить, что исследования в данном направлении уже ведутся, например расчет семизначного «персонального кода» железнодорожного узла [39], но ограничены из-за сложности и многовариантности.

Предлагается новый метод оценки показателей транспортной инфраструктуры железнодорожных узлов в виде системы классов и их балльного рейтинга.

В качестве параметров железнодорожных узловых структур используются инфраструктурные и оценочные показатели уровней организации транспортной работы на основе авторской модификации системы показателей [79, 110, 114, 116]. Предлагаются следующие оценочные критерии:

- *транспортная производительность*, определяется произведением величины поездопотока и протяженности в км главного хода, отнесенным к единице времени (сутки):

$$R(t) = \frac{N \cdot L}{T}, \frac{\text{поездо} \cdot \text{км}}{\text{сут}}; \quad (3.18)$$

где  $N$  – суточный поездопоток узла, пар поездов/сут;

$L$  – пробег по главным путям узла, км.

- *размер транспортного действия* (применяется для учета величины поездопотока, длины главного хода и участковой скорости), определяемый как произведение транспортной производительности и скорости:

$$R^*(t) = N \cdot L \cdot V = \frac{N \cdot L^2}{T}, \frac{\text{поездо} \cdot \text{км}^2}{\text{сут} \cdot \text{ч}}; \quad (3.19)$$

где  $V$  – участковая скорость, км/ч.

– *временной размер движения*, образуется делением транспортной производительности на скорость:

$$M(t) = \frac{N \cdot L}{V}, \frac{\text{поездо} \cdot \text{ч}}{\text{сут}}; \quad (3.20)$$

- *линейная плотность поездопотока*, характеризует количество поездов на определенном участке в текущий момент времени:

$$P(L) = \frac{N}{L}, \frac{\text{поезд}}{\text{сут} \cdot \text{км}}; \quad (3.21)$$

- *грузонапряженность*, определяет нагрузку в тоннах приходящуюся на 1 км пути:

$$P(Q) = \frac{N \cdot Q}{L}, \frac{\text{т}}{\text{сут} \cdot \text{км}}; \quad (3.22)$$

где  $Q$  – средний вес поезда, т.

– *степень использования узловой инфраструктуры*:

$$k(n_{\text{пут}}) = \frac{N}{n_{\text{пут}}}, \frac{\text{поезд}}{\text{сут} \cdot \text{путь}}; \quad (3.23)$$

где  $n_{\text{пут}}$  – количество приемо-отправочных путей.

- *средневзвешенное значение класса узловых станций* рассчитывается по формуле:

$$S_K = \sqrt[n]{i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_n}; \quad (3.24)$$

где  $n$  – количество станций в узле;

$i$  – класс каждого раздельного пункта узла.

В расчетах принимается, что если станция внеклассная или первого класса, то ее значение класса  $i$  не вносится в квадратный корень, но учитывается в количестве станций  $n$ .

Сведение вышеприведенных модифицированных показателей в единую классификационную систему производится на основе переработанных методов теории принятия решений в условиях неопределенности, представленных в 4-й главе диссертации.

Алгоритм оценки узловых структур и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов представлен на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Блок-схема последовательности исследования узловых структур

### 3.5. Выводы по главе

В третьей главе разработана методика оценки структур и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов на основе вероятностного и графоаналитического подхода с применением авторских модифицированных показателей схем и организации транспортного производства.

На основе схем узлов разработаны графы, вероятностные модели и матрицы связей узлов. Рассчитаны емкостные характеристики станций узлов. Определены коэффициенты связанности и достижимости графов узлов. На основе энтропийного подхода исследованы уровни организации узловой железнодорожной инфраструктуры, которые составили от 0,733 (тупиковые припортовые узлы) до 0,992 (комбинированного и сквозного типа).

Для характеристики схемных решений предложено использовать коэффициент устойчивости узла – вероятность сохранения связанности и технологичности при внешнем и внутреннем негативном воздействиях. Для исследуемых узлов значения коэффициентов составили от 0,73 до 0,97.

Разработана авторская система модифицированных показателей оценки степени организации узлового транспортного производства, включающая показатели транспортной производительности, размера транспортного действия, временного размера движения, линейной плотности поездопотока, грузового давления, степени использования узловой инфраструктуры, средневзвешенного значения класса узловых станций.

Применение данных оценочных критериев позволяет не только учесть различие параметров узловых схем и транспортной работы, но и сократить временные затраты процесса классификации на основе методов теории принятия решений. Для решения указанной классификационной задачи разработана блок-схема алгоритма.

## Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ

### 4.1. Параметризация узловых транспортно-технологических процессов

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  $K_{узда} = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ , причем каждый подкласс является в свою очередь подмножеством своих показателей.

В качестве параметров железнодорожных узловых структур используются инфраструктурные и оценочные показатели технологической работы на основе авторской системы показателей (гл. 3).

В табл. 4.1 представлена сводная ведомость показателей, характеризующих узловые структуры, где:

$L$  – протяженность путей главного хода узла, км;

$N$  – размер суточного поездопотока;

$n_{нум}$  – количество приемо-отправочных путей;

$R(t)$  – транспортная производительность;

$R^*(t)$  – размер транспортного действия;

$M(t)$  – временной размер движения;

$P(L)$  – линейная плотность поездопотока;

$P(Q)$  – грузонапряженность;

$k(n_{нум})$  – степень использования узловой инфраструктуры;

$K_s$  – коэффициент связанности схемы узла;

$K_d$  – коэффициент достижимости схемы узла;

$S_K$  – средневзвешенное значение класса узловых станций.

Таблица 4.1. – Сводная ведомость показателей узловых структур

| Узел | $L$ | $N$ | $n_{nym}$ | $R(t)$   | $R^*(t)$ | $M(t)$  | $P(L)$ | $P(Q)$   | $k(n_{nym})$ | $Ks$ | $Kd$ | $S_K$ |
|------|-----|-----|-----------|----------|----------|---------|--------|----------|--------------|------|------|-------|
| Р    | 62  | 152 | 64        | 9424,00  | 317589   | 279,64  | 2,45   | 8477,68  | 2,38         | 2,2  | 2,69 | 2,92  |
| Б    | 296 | 177 | 74        | 52392,00 | 1765610  | 1554,66 | 0,60   | 2067,79  | 2,39         | 2,29 | 1,62 | 2,57  |
| Т    | 104 | 73  | 33        | 7592,00  | 255850   | 225,28  | 0,70   | 2427,25  | 2,21         | 2    | 2,57 | 2,65  |
| Л    | 99  | 275 | 98        | 27225,00 | 917483   | 807,86  | 2,78   | 9605,56  | 2,81         | 2    | 2,53 | 2,86  |
| М    | 151 | 119 | 57        | 17969,00 | 605555   | 533,20  | 0,79   | 2725,18  | 2,09         | 1,8  | 3,16 | 2,32  |
| П    | 206 | 43  | 52        | 8858,00  | 298515   | 262,85  | 0,21   | 721,82   | 0,83         | 1,83 | 3,06 | 2,56  |
| Г    | 225 | 45  | 65        | 10125,00 | 341213   | 300,45  | 0,20   | 691,60   | 0,69         | 1,85 | 3,59 | 3,40  |
| Ч    | 90  | 38  | 39        | 3420,00  | 115254   | 101,48  | 0,42   | 1460,04  | 0,97         | 1,67 | 2,33 | 3,55  |
| К    | 80  | 187 | 50        | 14960,00 | 504152   | 443,92  | 2,34   | 8083,08  | 3,74         | 2,67 | 2,03 | 2,93  |
| З    | 142 | 184 | 97        | 26128,00 | 880514   | 775,31  | 1,30   | 4480,79  | 1,90         | 2    | 3,31 | 2,34  |
| Х    | 64  | 190 | 64        | 12160,00 | 409792   | 360,83  | 2,97   | 10265,94 | 2,97         | 1,71 | 2,10 | 3,85  |
| Н    | 37  | 50  | 30        | 1850,00  | 62345    | 54,90   | 1,35   | 4672,97  | 1,67         | 1,5  | 1,67 | 2,94  |
| С    | 246 | 111 | 45        | 27306,00 | 920212   | 810,27  | 0,45   | 1560,32  | 2,47         | 2    | 3,45 | 2,92  |
| Ш    | 49  | 124 | 31        | 6076,00  | 204761   | 180,30  | 2,53   | 8750,86  | 4,00         | 1,67 | 2,13 | 3,68  |
| А    | 133 | 74  | 50        | 9842,00  | 331675   | 292,05  | 0,56   | 1924,00  | 1,48         | 1,8  | 3,13 | 3,55  |
| И    | 83  | 62  | 48        | 5146,00  | 173420   | 152,70  | 0,75   | 2583,08  | 1,29         | 2    | 2,43 | 2,74  |
| Е    | 251 | 103 | 50        | 25853,00 | 871246   | 767,15  | 0,41   | 1419,02  | 2,06         | 1,8  | 3,24 | 2,30  |
| В    | 11  | 209 | 66        | 2299,00  | 78396    | 67,42   | 19,00  | 67602,00 | 3,17         | 1,33 | 1,00 | 1,26  |
| Ц    | 15  | 54  | 42        | 810,00   | 27621    | 23,75   | 3,60   | 12808,80 | 1,29         | 1,5  | 1,67 | 1,41  |

Так как показатели, сводимые к комплексному оценочному критерию, имеют разные единицы измерения, то их необходимо привести к безразмерному виду. Для этого предлагается использовать вариативный показатель  $k(\theta)$  с диапазоном значений от 1 до 100 (табл. 4.3):

$$k(\theta) = 1 + 99 \cdot \frac{\theta_i - \theta_{\min}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}. \quad (4.1)$$

где 1 – нижний предел вариативного показателя рейтинга; 99 – принятый размах вариации;  $\theta_i$  – значение  $i$ -го показателя в выборке;  $\theta_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$  – максимальное и минимальное значения выборки.

При этом следует учесть, что для расчета вариативного показателя  $k(\theta)$  средневзвешенного стратегического значения класса узловых станций и коэффициента достижимости используется формула:

$$k(\theta) = 1 + 99 \cdot \frac{\theta_{\max} - \theta_i}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}. \quad (4.2)$$

Это связано с тем, что чем выше класс станции, тем больший объем работ на ней производится, то есть наблюдается обратно пропорциональная связь между значением показателя и его влиянием на оценочный критерий.

Таким образом, осуществляется масштабирование интервала показателей  $[\theta_{\min}; \theta_{\max}]$  в интервал  $[1; 100]$ . Вариативный показатель  $k(\theta)$  не искажает значения показателей в каком-либо месте интервала, сохраняя равномерность числовой оценочной шкалы  $[1; 100]$  (рис. 4.1).

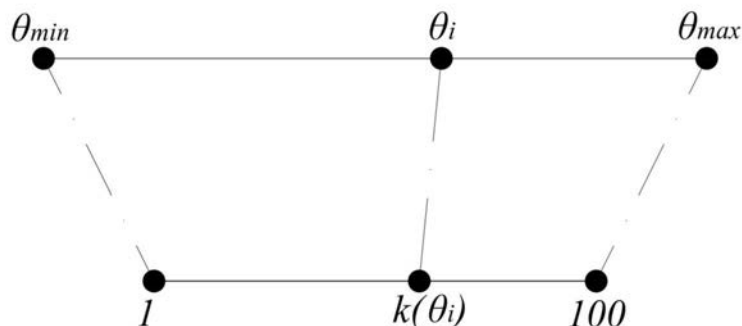


Рисунок 4.1 – Масштабирование интервала показателей

Таблица 4.2 – Сводная ведомость вариативных показателей узловых структур

| Узел | k(01)  | k(02)  | k(03)  | k(04)  | k(05)  | k(06)  | k(07)  | k(08)  | k(09)  | k(010) | k(011) | k(012) |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Р    | 18,72  | 48,62  | 50,50  | 17,53  | 17,52  | 17,55  | 12,86  | 12,52  | 51,36  | 65,28  | 35,44  | 36,52  |
| Б    | 100,00 | 59,06  | 65,06  | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 3,10   | 3,04   | 51,87  | 71,93  | 76,34  | 49,71  |
| Т    | 33,31  | 15,62  | 5,37   | 14,02  | 14,00  | 14,03  | 3,64   | 3,57   | 46,49  | 50,50  | 39,93  | 47,00  |
| Л    | 31,57  | 100,00 | 100,00 | 51,70  | 51,69  | 51,71  | 14,57  | 14,19  | 64,27  | 50,50  | 41,60  | 38,65  |
| М    | 49,63  | 34,84  | 40,31  | 33,93  | 33,92  | 33,94  | 4,10   | 4,01   | 42,76  | 35,72  | 17,60  | 59,28  |
| П    | 68,74  | 3,09   | 33,03  | 16,45  | 16,43  | 16,46  | 1,05   | 1,04   | 5,03   | 37,94  | 21,23  | 50,43  |
| Г    | 75,34  | 3,92   | 51,96  | 18,88  | 18,86  | 18,89  | 1,00   | 1,00   | 1,00   | 39,42  | 1,00   | 18,16  |
| Ч    | 28,44  | 1,00   | 14,10  | 6,01   | 5,99   | 6,03   | 2,17   | 2,14   | 9,44   | 26,12  | 49,03  | 12,43  |
| К    | 24,97  | 63,24  | 30,12  | 28,16  | 28,14  | 28,17  | 12,26  | 11,94  | 92,22  | 100,00 | 60,71  | 36,06  |
| З    | 46,51  | 61,99  | 98,54  | 49,59  | 49,58  | 49,60  | 6,77   | 6,61   | 37,05  | 50,50  | 11,73  | 58,69  |
| Х    | 19,41  | 64,49  | 50,50  | 22,78  | 22,77  | 22,80  | 15,58  | 15,17  | 69,13  | 29,07  | 58,13  | 1,00   |
| Н    | 10,03  | 6,01   | 1,00   | 3,00   | 2,98   | 3,01   | 7,06   | 6,89   | 30,16  | 13,56  | 74,51  | 35,63  |
| С    | 82,63  | 31,49  | 22,84  | 51,85  | 51,84  | 51,86  | 2,32   | 2,29   | 54,11  | 50,50  | 6,17   | 36,51  |
| Ш    | 14,20  | 36,92  | 2,46   | 11,11  | 11,09  | 11,12  | 13,27  | 12,92  | 100,00 | 26,12  | 56,68  | 7,28   |
| А    | 43,38  | 16,04  | 30,12  | 18,33  | 18,32  | 18,35  | 2,88   | 2,82   | 24,58  | 35,72  | 18,45  | 12,32  |
| И    | 26,01  | 11,03  | 27,21  | 9,32   | 9,31   | 9,34   | 3,88   | 3,80   | 18,94  | 50,50  | 45,39  | 43,30  |
| Е    | 84,37  | 28,15  | 30,12  | 49,06  | 49,05  | 49,07  | 2,11   | 2,08   | 41,94  | 35,72  | 14,20  | 60,32  |
| В    | 1,00   | 72,43  | 53,41  | 3,86   | 3,89   | 3,82   | 100,00 | 100,00 | 75,06  | 1,00   | 100,00 | 100,00 |
| Ц    | 2,39   | 7,68   | 18,47  | 1,00   | 1,00   | 1,00   | 18,90  | 18,93  | 18,76  | 13,56  | 74,51  | 94,10  |

## 4.2. Разработка комплексного динамического критерия оценки показателей узловой структуры

Для разработки комплексного динамического критерия оценки узловой структуры проводится сравнительный анализ показателей в зависимости от степени их воздействия (положительного или отрицательного) на структуру узла по критериям теории принятия решений, описанным во второй главе диссертации: *критерию произведений, критерию Гурвица и модифицированному критерию Гермейера* [11].

В расчетах принято для *критерия Гурвица* небольшое предпочтение «оптимистическому критерию» ( $c = 0,45$  – «вес», с которым учитывается оценка классического ММ-критерия;  $(1-c) = 0,55$  – «вес», с которым учитывается оценка классического Н-критерия). При ранжировании по *модифицированному критерию Гермейера* отдано предпочтение показателю поездопотоков  $q=0,89$ , как основному в оценивании работы узла, остальным 11 параметрам задана эмпирическая оценка значимости  $q_j=0,01$ .

Следует отметить, что по данной методике можно задать и другие значения субъективных параметров, в зависимости от задач и требований, предъявляемых при оценке транспортных объектов.

Полученная система показателей узлов оценивается по балльной системе в диапазоне от 1 до 100 в зависимости от значений критериев (табл. 4.3 - 4.5).

Критерий оценки рейтинга (класса) железнодорожного узла имеет следующий вид:

$$K_{оц} = HW_{оц}^{n_1} \cdot P_{оц}^{n_2} \cdot G_{оц}^{n_3}, \sum_{i=1}^3 n_i = 1, \quad (4.3)$$

где  $HW, P, G(mod)$  – оценочные значения по критерию Гурвица, критерию произведений и модифицированному критерию Гермейера соответственно;

$n_1, n_2, n_3$  – коэффициенты, отражающие степень значимости того или иного критерия принятия решения,  $n_1=0,33, n_2=0,33, n_3=0,34$ .

Таблица 4.3 – Бальная система 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)<br>критерий | Приоритет | Баллы  |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|-----------|--------|
| Р    | 1871,58       | 54,63         | 5050,00       | 1753,26       | 1751,73       | 1754,78       | 1285,69       | 1252,02       | 5136,34       | 6527,61        | 3543,76        | 3652,22        | 54,63              | 7         | 48,62  |
| Б    | 10000,00      | 66,36         | 6505,88       | 10000,00      | 10000,00      | 10000,00      | 309,57        | 303,62        | 5186,90       | 7192,54        | 7633,52        | 4971,40        | 66,36              | 6         | 59,06  |
| Т    | 3330,53       | 17,55         | 536,76        | 1401,65       | 1400,05       | 1403,24       | 364,31        | 356,81        | 4648,84       | 5050,00        | 3992,79        | 4700,09        | 17,55              | 13        | 15,62  |
| Л    | 3156,84       | 112,36        | 10000,00      | 5169,76       | 5168,86       | 5170,65       | 1457,45       | 1418,90       | 6426,70       | 5050,00        | 4159,65        | 3865,25        | 112,36             | 1         | 100,00 |
| М    | 4963,16       | 39,14         | 4030,88       | 3393,28       | 3392,05       | 3394,50       | 409,68        | 400,89        | 4276,50       | 3572,39        | 1759,80        | 5927,82        | 39,14              | 9         | 34,84  |
| П    | 6873,68       | 3,47          | 3302,94       | 1644,63       | 1643,07       | 1646,17       | 104,60        | 104,47        | 502,91        | 3794,03        | 2122,77        | 5042,79        | 3,47               | 18        | 3,09   |
| Г    | 7533,68       | 4,41          | 5195,59       | 1887,80       | 1886,29       | 1889,30       | 100,00        | 100,00        | 100,00        | 3941,79        | 100,00         | 1816,47        | 4,41               | 17        | 3,92   |
| Ч    | 2844,21       | 1,12          | 1410,29       | 600,93        | 599,18        | 602,66        | 217,02        | 213,70        | 944,19        | 2611,94        | 4902,97        | 1242,82        | 1,12               | 19        | 1,00   |
| К    | 2496,84       | 71,06         | 3011,76       | 2815,77       | 2814,43       | 2817,10       | 1225,60       | 1193,64       | 9221,81       | 10000,00       | 6071,04        | 3605,76        | 71,06              | 4         | 63,24  |
| З    | 4650,53       | 69,65         | 9854,41       | 4959,22       | 4958,28       | 4960,15       | 677,03        | 660,64        | 3705,39       | 5050,00        | 1172,87        | 5868,84        | 69,65              | 5         | 61,99  |
| Х    | 1941,05       | 72,46         | 5050,00       | 2278,38       | 2276,94       | 2279,80       | 1558,01       | 1516,61       | 6913,44       | 2907,46        | 5813,15        | 100,00         | 72,46              | 3         | 64,49  |
| Н    | 1003,16       | 6,76          | 100,00        | 299,60        | 297,80        | 301,39        | 706,30        | 689,08        | 3016,28       | 1355,97        | 7451,49        | 3563,31        | 6,76               | 16        | 6,01   |
| С    | 8263,16       | 35,39         | 2283,82       | 5185,31       | 5184,41       | 5186,20       | 232,29        | 228,53        | 5410,70       | 5050,00        | 616,83         | 3651,20        | 35,39              | 10        | 31,49  |
| Ш    | 1420,00       | 41,49         | 245,59        | 1110,69       | 1109,03       | 1112,33       | 1327,29       | 1292,44       | 10000,00      | 2611,94        | 5667,52        | 728,42         | 41,49              | 8         | 36,92  |
| А    | 4337,89       | 18,02         | 3011,76       | 1833,49       | 1831,97       | 1834,99       | 287,67        | 282,34        | 2457,58       | 3572,39        | 1844,75        | 1232,09        | 18,02              | 12        | 16,04  |
| И    | 2601,05       | 12,39         | 2720,59       | 932,20        | 930,51        | 933,87        | 388,04        | 379,86        | 1893,90       | 5050,00        | 4538,90        | 4329,60        | 12,39              | 14        | 11,03  |
| Е    | 8436,84       | 31,63         | 3011,76       | 4906,44       | 4905,49       | 4907,38       | 210,77        | 207,63        | 4193,53       | 3572,39        | 1420,00        | 6031,93        | 31,63              | 11        | 28,15  |
| В    | 100,00        | 81,38         | 5341,18       | 385,78        | 389,23        | 382,38        | 10000,00      | 10000,00      | 7505,81       | 100,00         | 10000,00       | 10000,00       | 81,38              | 2         | 72,43  |
| Ц    | 238,95        | 8,63          | 1847,06       | 100,00        | 100,00        | 100,00        | 1890,43       | 1892,85       | 1876,08       | 1355,97        | 7451,49        | 9409,87        | 8,63               | 15        | 7,68   |
| q=   | 0,01          | 0,89          | 0,01          | 0,01          | 0,01          | 0,01          | 0,01          | 0,01          | 0,01          | 0,01           | 0,01           | 0,01           |                    |           |        |

Таблица 4.4 – Бальная система показателей узлов по НW-критерию

| Узел | $k(\theta 1)$ | $k(\theta 2)$ | $k(\theta 3)$ | $k(\theta 4)$ | $k(\theta 5)$ | $k(\theta 6)$ | $k(\theta 7)$ | $k(\theta 8)$ | $k(\theta 9)$ | $k(\theta 10)$ | $k(\theta 11)$ | $k(\theta 12)$ | ММ кри-<br>терий | Н<br>критерий | НW<br>критерий | Приоритет | Баллы |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-------|
| Р    | 18,72         | 48,62         | 50,50         | 17,53         | 17,52         | 17,55         | 12,86         | 12,52         | 51,36         | 65,28          | 35,44          | 36,52          | 12,52            | 65,28         | 41,54          | 11        | 41,54 |
| Б    | 100,00        | 59,06         | 65,06         | 100,00        | 100,00        | 100,00        | 3,10          | 3,04          | 51,87         | 71,93          | 76,34          | 49,71          | 3,04             | 100,00        | 56,37          | 4         | 56,37 |
| Т    | 33,31         | 15,62         | 5,37          | 14,02         | 14,00         | 14,03         | 3,64          | 3,57          | 46,49         | 50,50          | 39,93          | 47,00          | 3,57             | 50,50         | 29,38          | 17        | 29,38 |
| Л    | 31,57         | 100,00        | 100,00        | 51,70         | 51,69         | 51,71         | 14,57         | 14,19         | 64,27         | 50,50          | 41,60          | 38,65          | 14,19            | 100,00        | 61,39          | 1         | 61,39 |
| М    | 49,63         | 34,84         | 40,31         | 33,93         | 33,92         | 33,94         | 4,10          | 4,01          | 42,76         | 35,72          | 17,60          | 59,28          | 4,01             | 59,28         | 34,41          | 15        | 34,41 |
| П    | 68,74         | 3,09          | 33,03         | 16,45         | 16,43         | 16,46         | 1,05          | 1,04          | 5,03          | 37,94          | 21,23          | 50,43          | 1,04             | 68,74         | 38,28          | 14        | 38,28 |
| Г    | 75,34         | 3,92          | 51,96         | 18,88         | 18,86         | 18,89         | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 39,42          | 1,00           | 18,16          | 1,00             | 75,34         | 41,89          | 10        | 41,89 |
| Ч    | 28,44         | 1,00          | 14,10         | 6,01          | 5,99          | 6,03          | 2,17          | 2,14          | 9,44          | 26,12          | 49,03          | 12,43          | 1,00             | 49,03         | 27,42          | 18        | 27,42 |
| К    | 24,97         | 63,24         | 30,12         | 28,16         | 28,14         | 28,17         | 12,26         | 11,94         | 92,22         | 100,00         | 60,71          | 36,06          | 11,94            | 100,00        | 60,37          | 2         | 60,37 |
| З    | 46,51         | 61,99         | 98,54         | 49,59         | 49,58         | 49,60         | 6,77          | 6,61          | 37,05         | 50,50          | 11,73          | 58,69          | 6,61             | 98,54         | 57,17          | 3         | 57,17 |
| Х    | 19,41         | 64,49         | 50,50         | 22,78         | 22,77         | 22,80         | 15,58         | 15,17         | 69,13         | 29,07          | 58,13          | 1,00           | 1,00             | 69,13         | 38,47          | 13        | 38,47 |
| Н    | 10,03         | 6,01          | 1,00          | 3,00          | 2,98          | 3,01          | 7,06          | 6,89          | 30,16         | 13,56          | 74,51          | 35,63          | 1,00             | 74,51         | 41,43          | 12        | 41,43 |
| С    | 82,63         | 31,49         | 22,84         | 51,85         | 51,84         | 51,86         | 2,32          | 2,29          | 54,11         | 50,50          | 6,17           | 36,51          | 2,29             | 82,63         | 46,48          | 9         | 46,48 |
| Ш    | 14,20         | 36,92         | 2,46          | 11,11         | 11,09         | 11,12         | 13,27         | 12,92         | 100,00        | 26,12          | 56,68          | 7,28           | 2,46             | 100,00        | 56,11          | 5         | 56,11 |
| А    | 43,38         | 16,04         | 30,12         | 18,33         | 18,32         | 18,35         | 2,88          | 2,82          | 24,58         | 35,72          | 18,45          | 12,32          | 2,82             | 43,38         | 25,13          | 19        | 25,13 |
| И    | 26,01         | 11,03         | 27,21         | 9,32          | 9,31          | 9,34          | 3,88          | 3,80          | 18,94         | 50,50          | 45,39          | 43,30          | 3,80             | 50,50         | 29,48          | 16        | 29,48 |
| Е    | 84,37         | 28,15         | 30,12         | 49,06         | 49,05         | 49,07         | 2,11          | 2,08          | 41,94         | 35,72          | 14,20          | 60,32          | 2,08             | 84,37         | 47,34          | 8         | 47,34 |
| В    | 1,00          | 72,43         | 53,41         | 3,86          | 3,89          | 3,82          | 100,00        | 100,00        | 75,06         | 1,00           | 100,00         | 100,00         | 1,00             | 100,00        | 55,45          | 6         | 55,45 |
| Ц    | 2,39          | 7,68          | 18,47         | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 18,90         | 18,93         | 18,76         | 13,56          | 74,51          | 94,10          | 1,00             | 94,10         | 52,20          | 7         | 52,20 |
| с=   | 0,45          |               |               |               |               |               |               |               |               |                |                |                |                  |               |                |           |       |

Таблица 4.5 – Бальная система 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<br>критерий | Приоритет | Баллы |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------|-------|
| Р    | 18,72         | 48,62         | 50,50         | 17,53         | 17,52         | 17,55         | 12,86         | 12,52         | 51,36         | 65,28          | 35,44          | 36,52          | 27,32         | 5         | 27,32 |
| Б    | 100,00        | 59,06         | 65,06         | 100,00        | 100,00        | 100,00        | 3,10          | 3,04          | 51,87         | 71,93          | 76,34          | 49,71          | 43,89         | 1         | 43,89 |
| Т    | 33,31         | 15,62         | 5,37          | 14,02         | 14,00         | 14,03         | 3,64          | 3,57          | 46,49         | 50,50          | 39,93          | 47,00          | 16,61         | 11        | 16,61 |
| Л    | 31,57         | 100,00        | 100,00        | 51,70         | 51,69         | 51,71         | 14,57         | 14,19         | 64,27         | 50,50          | 41,60          | 38,65          | 43,59         | 2         | 43,59 |
| М    | 49,63         | 34,84         | 40,31         | 33,93         | 33,92         | 33,94         | 4,10          | 4,01          | 42,76         | 35,72          | 17,60          | 59,28          | 25,38         | 6         | 25,38 |
| П    | 68,74         | 3,09          | 33,03         | 16,45         | 16,43         | 16,46         | 1,05          | 1,04          | 5,03          | 37,94          | 21,23          | 50,43          | 11,76         | 15        | 11,76 |
| Г    | 75,34         | 3,92          | 51,96         | 18,88         | 18,86         | 18,89         | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 39,42          | 1,00           | 18,16          | 8,05          | 18        | 8,05  |
| Ч    | 28,44         | 1,00          | 14,10         | 6,01          | 5,99          | 6,03          | 2,17          | 2,14          | 9,44          | 26,12          | 49,03          | 12,43          | 7,92          | 19        | 7,92  |
| К    | 24,97         | 63,24         | 30,12         | 28,16         | 28,14         | 28,17         | 12,26         | 11,94         | 92,22         | 100,00         | 60,71          | 36,06          | 34,78         | 3         | 34,78 |
| З    | 46,51         | 61,99         | 98,54         | 49,59         | 49,58         | 49,60         | 6,77          | 6,61          | 37,05         | 50,50          | 11,73          | 58,69          | 33,50         | 4         | 33,50 |
| Х    | 19,41         | 64,49         | 50,50         | 22,78         | 22,77         | 22,80         | 15,58         | 15,17         | 69,13         | 29,07          | 58,13          | 1,00           | 22,89         | 9         | 22,89 |
| Н    | 10,03         | 6,01          | 1,00          | 3,00          | 2,98          | 3,01          | 7,06          | 6,89          | 30,16         | 13,56          | 74,51          | 35,63          | 8,15          | 17        | 8,15  |
| С    | 82,63         | 31,49         | 22,84         | 51,85         | 51,84         | 51,86         | 2,32          | 2,29          | 54,11         | 50,50          | 6,17           | 36,51          | 23,41         | 8         | 23,41 |
| Ш    | 14,20         | 36,92         | 2,46          | 11,11         | 11,09         | 11,12         | 13,27         | 12,92         | 100,00        | 26,12          | 56,68          | 7,28           | 16,20         | 12        | 16,20 |
| А    | 43,38         | 16,04         | 30,12         | 18,33         | 18,32         | 18,35         | 2,88          | 2,82          | 24,58         | 35,72          | 18,45          | 12,32          | 15,61         | 13        | 15,61 |
| И    | 26,01         | 11,03         | 27,21         | 9,32          | 9,31          | 9,34          | 3,88          | 3,80          | 18,94         | 50,50          | 45,39          | 43,30          | 15,38         | 14        | 15,38 |
| Е    | 84,37         | 28,15         | 30,12         | 49,06         | 49,05         | 49,07         | 2,11          | 2,08          | 41,94         | 35,72          | 14,20          | 60,32          | 24,53         | 7         | 24,53 |
| В    | 1,00          | 72,43         | 53,41         | 3,86          | 3,89          | 3,82          | 100,00        | 100,00        | 75,06         | 1,00           | 100,00         | 100,00         | 18,56         | 10        | 18,56 |
| Ц    | 2,39          | 7,68          | 18,47         | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 18,90         | 18,93         | 18,76         | 13,56          | 74,51          | 94,10          | 8,80          | 16        | 8,80  |

Расчет значения критерия оценки узла для рассматриваемых вариантов при  $n_1=0,33$ ,  $n_2=0,33$ ,  $n_3=0,34$  сведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Значения критерия оценки узла

| Узел | $G(mod)$<br>критерий | $HW$<br>критерий | $P$<br>критерий | Баллы |
|------|----------------------|------------------|-----------------|-------|
| Л    | 100                  | 61               | 44              | 64    |
| Б    | 59                   | 56               | 44              | 53    |
| К    | 63                   | 60               | 35              | 51    |
| З    | 62                   | 57               | 33              | 49    |
| В    | 72                   | 55               | 19              | 42    |
| Х    | 64                   | 38               | 23              | 38    |
| Р    | 49                   | 42               | 27              | 38    |
| С    | 31                   | 46               | 23              | 32    |
| Ш    | 37                   | 56               | 16              | 32    |
| Е    | 28                   | 47               | 25              | 32    |
| М    | 35                   | 34               | 25              | 31    |
| Т    | 16                   | 29               | 17              | 20    |
| А    | 16                   | 25               | 16              | 18    |
| И    | 11                   | 29               | 15              | 17    |
| Ц    | 8                    | 52               | 9               | 15    |
| Н    | 6                    | 41               | 8               | 13    |
| П    | 3                    | 38               | 12              | 11    |
| Г    | 4                    | 42               | 8               | 11    |
| Ч    | 1                    | 27               | 8               | 6     |
| n=   | 0,33                 | 0,33             | 0,34            |       |

Размах балльной вариации исследуемых узлов составляет от 6 до 64

### 4.3 Перспективная системная классификация узловых структур

Предлагаемая перспективная классификационная система узлов включает в себя I, II, III, IV и V класс (табл. 4.7), в которых общесистемный класс узла  $K^*$  включает множество показателей подклассов  $K^* = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ .

Таблица 4.7 – Перспективная классификация железнодорожных узлов

| Класс | Наименование                 | Признаки транспортно-технологической системы узла | Признаки класса узла                | Балльный R-критерий узла |
|-------|------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| I     | Крупнейшие ж.-д. узлы        | $TTC_1 \in \{k_1^1; k_2^1; k_3^1\}$               | $S_1^* \in \{S_1^1; S_2^1; S_3^1\}$ | $81 \leq R_1 \leq 100$   |
| II    | Крупные ж.-д. узлы (1-й тип) | $TTC_2 \in \{k_1^2; k_2^2; k_3^2\}$               | $S_2^* \in \{S_1^2; S_2^2; S_3^2\}$ | $61 \leq R_2 \leq 80$    |
| III   | Крупные ж.-д. узлы (2-й тип) | $TTC_3 \in \{k_1^3; k_2^3; k_3^3\}$               | $S_3^* \in \{S_1^3; S_2^3; S_3^3\}$ | $41 \leq R_3 \leq 60$    |
| IV    | Средние ж.-д. узлы           | $TTC_4 \in \{k_1^4; k_2^4; k_3^4\}$               | $S_4^* \in \{S_1^4; S_2^4; S_3^4\}$ | $21 \leq R_4 \leq 40$    |
| V     | Малые ж.-д. узлы             | $TTC_5 \in \{k_1^5; k_2^5; k_3^5\}$               | $S_5^* \in \{S_1^5; S_2^5; S_3^5\}$ | $1 \leq R_5 \leq 20$     |

В табл. 4.7  $TTC_i \in \{k_1^i; k_2^i; k_3^i\}$ ;  $S_i^* \in \{S_1^i; S_2^i; S_3^i\}$  - роль узла в транспортной системе, класс распределительной станции соответственно. Балльный R-критерий узла каждого класса включает по 20 баллов.

Возникает справедливый вопрос о достаточности количества исследуемых структур железнодорожных узлов и шага балльного критерия. Характер распределения случайных величин в потоке можно определить при наличии достаточного объема статистических наблюдений. Достоверность характеристик зависит от количества наблюдений. Количество интервалов группиро-

вания наблюдений  $I_{cp}$ , а также размер (ширина) интервала  $d$  в зависимости от размеров выборки, которую можно определить по формуле Г. Стерджесса:

$$I_{cp} = 1 + 3,322 \lg n, \text{ откуда следует } d = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{I_{cp}}, \text{ где } X_{\max}, X_{\min} - \text{размах вариации}$$

(наибольшее и наименьшее значение случайной величины);  $n$  – количество статистических наблюдений;  $I_{cp}$  – количество интервалов группирования наблюдений [105].

Было решено уравнение относительно  $n$  для определения количества вариантов исследуемых узлов при отнесении к возможным пяти классам. В качестве размаха вариации использована балльная система  $X_{\max}=100$ ,  $X_{\min}=0$ , размер интервала класса  $d = 20$ , количество интервалов группирования (классов)  $I_{cp}=5$ . При заданных параметрах получим, что объем выборки должен быть не менее  $n = 10^{1,204} = 16$  вариантов схем узлов. В диссертационной работе исследованы схемы 19 узлов, а также крупнейших: Московского и Санкт-Петербургского.

Выполним проверку исследуемого объема выборки (количества узлов) для каждого интервала класса (равен 20 баллам) внутри размаха вариации (100 баллов). Для этого примем, что распределение интересующего нас признака близко к нормальному [132, с.81-89]. Среднее квадратичное отклонение равномерного распределения можно определить по формуле из рис. 4.2

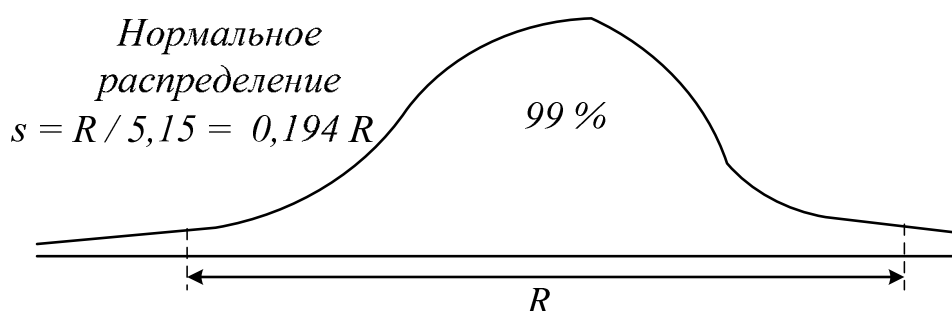


Рисунок 4.2 – Нормальный тип распределения исследуемого признака:  
 $R$  – ширина интервала, в котором содержится 99 % значений признака

Тогда среднее квадратичное отклонение  $s$  равномерного распределения при  $R = 20$  равно  $s = 0,194 \cdot 20 = 3,88$ .

Объем выборки  $n$  внутри каждого интервала класса узла при заданной ошибке  $s_{\bar{x}}=1-2\%$  определяется по формуле [132]:

$$n = \frac{s^2}{s_{\bar{x}}^2 + \frac{s^2}{N}}$$

где  $N$  – общий объем совокупности выборки.

Если нет данных об общем объеме совокупности выборки  $N$ , то предельное значение выборки определяется по формуле при  $s_{\bar{x}}=2\%$ :

$$n = \left( \frac{s}{s_{\bar{x}}} \right)^2.$$

Тогда значение выборки внутри класса равно:

$$n = \left( \frac{3,88}{2} \right)^2 = 3,76,$$

а для пяти классов узлов –  $n_{\text{общ}} = 3,76 \cdot 5 = 18,8 \approx 19$  схем узлов.

В результате расчетов балльного рейтинга определено, что узел «Л» относится к II классу, узлы «Б», «К», «З», «В» относятся к III классу, узлы «Х», «Р», «С», «Ш», «Е», «М» – к IV классу, узлы «Т», «А», «И», «Ц», «Н», «П», «Г», «Ч» – V класса.

В таблице 4.8 представлено описание каждого из 5 классов разработанной классификации.

В данной выборке исследуемых узлов нет узлов I класса. К таким узлам относят узлы крупнейших мировых центров. Например, крупнейшие российские железнодорожные узлы – Московский, Санкт-Петербургский и др. Из-за значительного объема обрабатываемых данных ранг крупнейших узлов определим в п. 4.4 диссертации на основе созданного программного научно-методического комплекса оценки структур железнодорожных узлов.

Таблица 4.8 – Характеристика классов в перспективной классификации железнодорожных узлов

| Класс | Наименование                 | Узлы                   | 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 | $81 \leq R_1 \leq 100$ |
| II    | Крупные ж.-д. узлы (1-й тип) | Л                      | Ж.-д. узлы сетевого значения на линиях общего пользования, региональные                                        | Одна сетевая или региональная сортировочная станция                                                                  | $61 \leq R_2 \leq 80$  |
| III   | Крупные ж.-д. узлы (2-й тип) | Б, К, З, В             | Ж.-д. узлы сетевого значения промышленно-транспортных центров                                                  | Региональная сортировочная станция                                                                                   | $41 \leq R_3 \leq 60$  |
| IV    | Средние ж.-д. узлы           | Х, Р, С, Ш, Е, М       | Ж.-д. узлы административных районов, добывающей и обрабатывающей промышленности                                | Распределительная станция или промышленная сортировочная станция                                                     | $21 \leq R_4 \leq 40$  |
| V     | Малые ж.-д. узлы             | Т, А, И, Ц, Н, П, Г, Ч | Ж.-д. узлы малодетальных линий, узлы с одной станцией                                                          | Распределительная станция                                                                                            | $1 \leq R_5 \leq 20$   |

#### 4.4. Программный научно-методический комплекс оценки структур железнодорожных узлов

Для исследования вопросов классификации железнодорожных узлов в рамках диссертационной работы была сформирована электронная база данных схем основных узлов и их показателей с последующим созданием автоматизированного научно-методического комплекса оценки структур железнодорожных узлов.

Предложенная методика оценки инфраструктуры и классификации железнодорожных узлов (рис. 4.3) включает в себя 6 этапов.

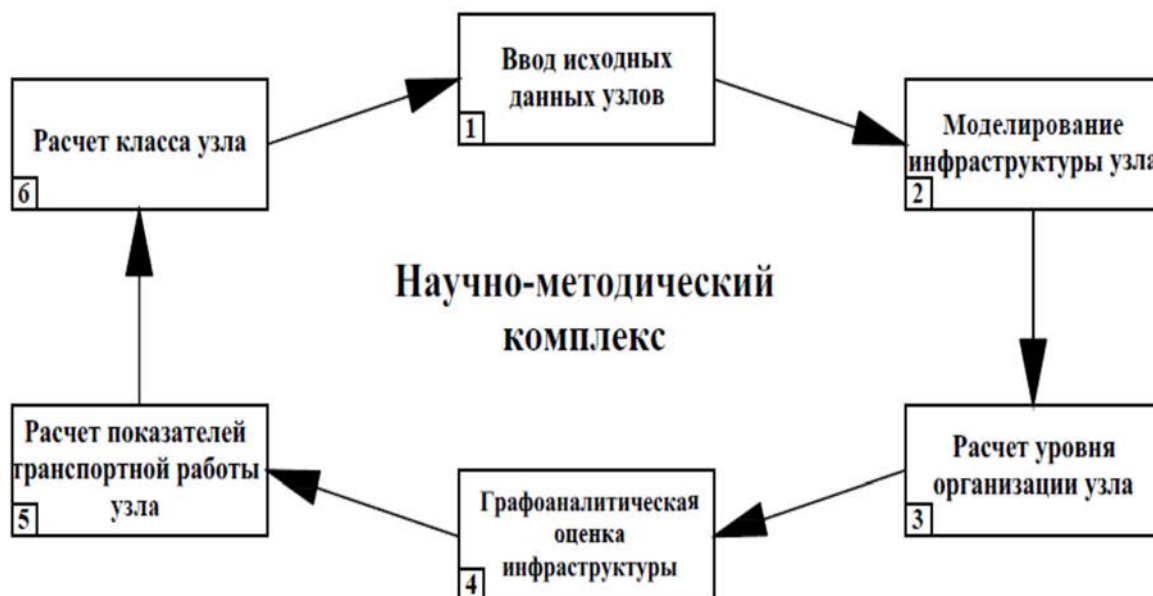


Рисунок 4.3. – Последовательность классификационной оценки структуры и организации транспортной работы узла

Для автоматизации решения данной задачи создано веб-приложение «Научно-методический комплекс (НМК) оценки структуры и транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов» (рис. 4.4) [129, 115, 130].

Приложение разработано на основе программных продуктов *Microsoft Excel* и *AutoCad* [93]. Интерфейс приложения разработан по стандартам язы-

ка гипертекстовой разметки текста *HTML* и представлен в виде веб-страницы. Содержание веб-документа доступно для обработки, манипулирования и просмотра посредством веб-браузера. Приложение может располагаться локально (на ПК пользователя) или на серверах в локальных и глобальных сетях. Современные браузеры также позволяют прямой просмотр содержания файлов определённых форматов, в отрыве от ссылки на веб-страницу.

Язык *HTML* позволяет форматировать текст, различать в нём функциональные элементы, создавать гиперссылки для быстрого перехода на другие веб-страницы или доступа к ссылочным файлам и вставлять в отображаемую страницу файлы в других форматах (текст, графические изображения, прикладные программы и прочее).

Для изменения отображения страницы использовалась система каскадных таблиц стилей *CSS*, которая служит формальным языком описания внешнего вида гипертекстовых документов. Это позволяет централизовать в определенном файле все элементы форматирования.

В функции НМК также входят анализ показателей работы, включающий в себя их ранжирование, нахождение разброса величин относительно среднего значения, построение диаграмм Парето; оценка экономической привлекательности железнодорожного транспорта в регионах [113]; подбор вариантов прогнозирования объемов перевозок.

а

**Научно-методический комплекс (НМК) оценки уровня развития узловой инфраструктуры**

|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ввод исходных данных                        | <p>Научно-методический комплекс представляет собой программу оценки инфраструктуры и классификации железнодорожных узлов.</p> <p>НМК моделирует узловую инфраструктуру, рассчитывает показатели транспортной работы, дает рекомендации по наилучшему размещению сортировочной станции, определяет устойчивость транспортной системы, предлагает вариант прогнозирования перевозок и ранжирует по классам железнодорожные узлы.</p> <p>В НМК также есть возможность оценивания экономической привлекательности железнодорожного транспорта в регионах; подбора вариантов прогнозирования объемов перевозок.</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> <div style="background-color: #c8e6c9; padding: 2px 10px; border: 1px solid #ccc;">Расчет привлекательности железнодорожного транспорта</div> <div style="background-color: #c8e6c9; padding: 2px 10px; border: 1px solid #ccc; margin-top: 5px;">Прогнозирование перевозки грузов узлами</div> </div> <p>НМК может быть использован для научных исследований, учебно-методической работы при курсовом и дипломном проектировании.</p> |
| Моделирование инфраструктуры узла           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Расчет уровня организации узла              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Графованалитическая оценка структуры узлов  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Расчет показателей транспортной работы узла |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Расчет класса узла                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Справочные данные                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

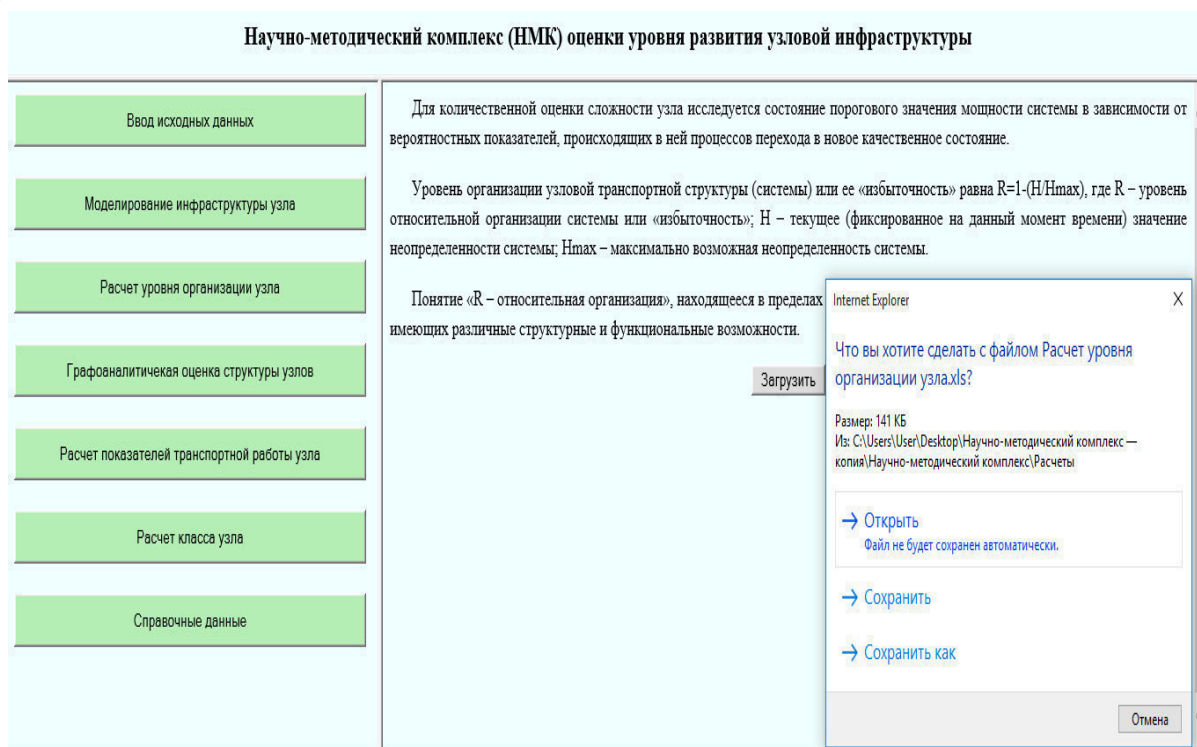
б

**Научно-методический комплекс (НМК) оценки уровня развития узловой инфраструктуры**

| Ввод исходных данных                        | <div style="background-color: #f5f5f5; padding: 5px; border: 1px solid #ccc; margin-bottom: 5px;"> <span>📁</span> <span>🖨</span> <span>✉</span> <span>🔍</span> <span>↶</span> <span>↷</span> <span>1 / 1</span> <span>🖱</span> <span>🖱</span> <span>⊖</span> <span>⊕</span> <span>58,2%</span> <span>📏</span> <span>🔍</span> <span>📄</span> <span>⬇</span> <span>?</span> <span>Войти</span> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #f5f5f5;"> <th style="width: 10%;">Наименование узла</th> <th style="width: 20%;">Схема узла</th> <th style="width: 20%;">Граф узла</th> <th style="width: 20%;">Вероятностная модель узла</th> <th style="width: 30%;">Матрица смежности узла</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 150px; vertical-align: middle; font-size: 24px;">?</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Наименование узла | Схема узла | Граф узла                 | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла | ? |  |  |  |  |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---|--|--|--|--|
| Наименование узла                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Схема узла        | Граф узла  | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла    |                        |   |  |  |  |  |
| ?                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |            |                           |                           |                        |   |  |  |  |  |
| Моделирование инфраструктуры узла           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |            |                           |                           |                        |   |  |  |  |  |
| Расчет уровня организации узла              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |            |                           |                           |                        |   |  |  |  |  |
| Графованалитическая оценка структуры узлов  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |            |                           |                           |                        |   |  |  |  |  |
| Расчет показателей транспортной работы узла |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |            |                           |                           |                        |   |  |  |  |  |
| Расчет класса узла                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |            |                           |                           |                        |   |  |  |  |  |
| Справочные данные                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |            |                           |                           |                        |   |  |  |  |  |

Рисунок 4.4 – Научно-методический комплекс (НМК) оценки структуры и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов

В



Г

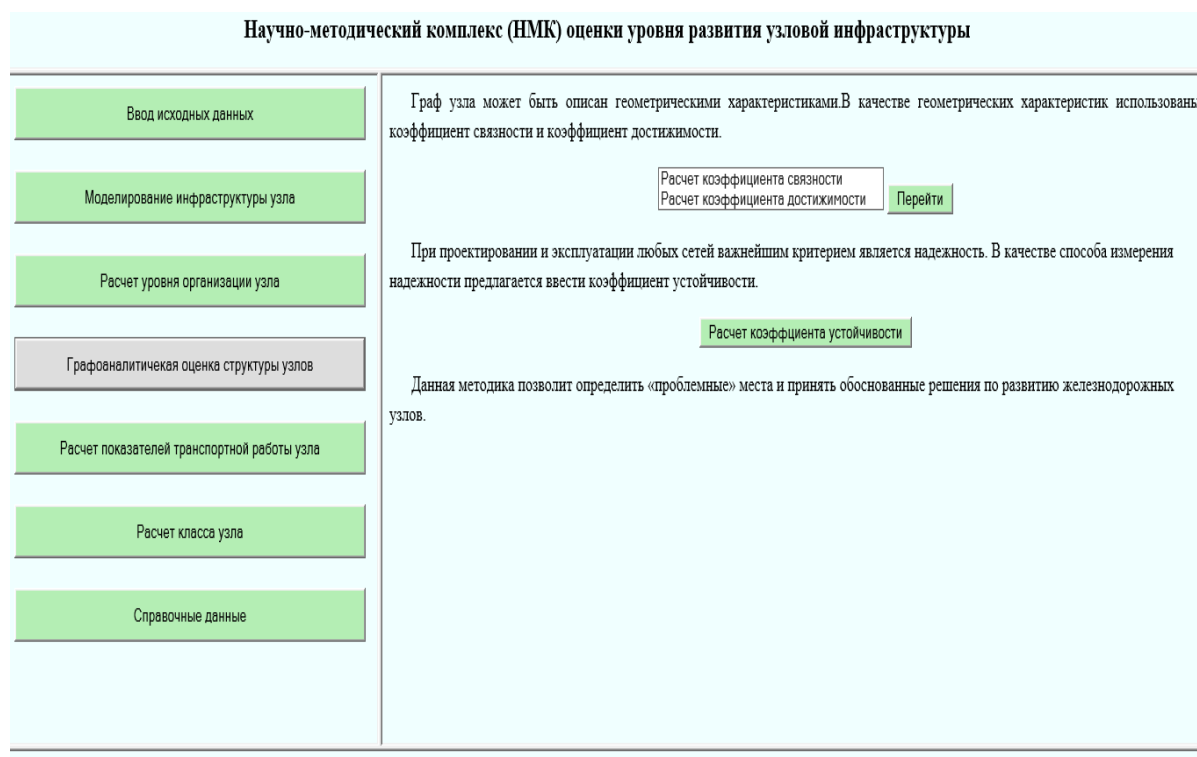


Рисунок 4.4 – Научно-методический комплекс (НМК) оценки структуры и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов (продолжение)

Д

**Научно-методический комплекс (НМК) оценки уровня развития узловой инфраструктуры**

Ввод исходных данных

Моделирование инфраструктуры узла

Расчет уровня организации узла

Графоаналитическая оценка структуры узлов

Расчет показателей транспортной работы узла

Расчет класса узла

Справочные данные

Оценка технологической работы железнодорожных узлов на основе модифицированной системы показателей транспортной работы:

- транспортная производительность;
- размер транспортного действия;
- размер движения;
- линейная плотность поездопотока;
- грузовое давление;
- показатель использования железнодорожной инфраструктуры.

**Расчет показателей транспортной работы узла**

Анализ показателей транспортной работы включает ранжирование, отклонение величин от среднего значения и диаграммы Парето.

Ранжирование показателей

Отклонение от среднего значения показателей

Диаграммы Парето для показателей

**Перейти**

К показателям транспортной работы относится и пропускная способность узла

е

**Научно-методический комплекс (НМК) оценки уровня развития узловой инфраструктуры**

Ввод исходных данных

Моделирование инфраструктуры узла

Расчет уровня организации узла

Графоаналитическая оценка структуры узлов

Расчет показателей транспортной работы узла

Расчет класса узла

Справочные данные

Данная методика классификации представлена в виде I, II, III, IV и V класса, в которых общесистемный класс узла включает множество показателей подклассов, причем каждый подкласс является в свою очередь подмножеством своих показателей.

| 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. малые узлы                                                                                               | Распределительная станция                                                                                            | 1-20   |

**Загрузить**

Рисунок 4.4 – Научно-методический комплекс (НМК) оценки структуры и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов (окончание):

а – общий вид НМК; б – окно моделирования инфраструктуры узлов;

в – окно расчета уровня организации узловой инфраструктуры;

г – окно графоаналитической оценки структуры узлов; д – окно расчета показателей транспортной работы узлов; е – окно расчета класса узлов

#### 4.4.1. Апробация метода комплексной оценки узловой структуры

Работу НМК оценки структуры и узловых транспортно-технологических процессов выполним на примере Московского ж.-д. узла и строительства обхода Краснодарского узла.

Согласно паспорту «Актуализация генеральной схемы развития Московского железнодорожного узла» [73] длина главного хода равна (длина железнодорожных линий Малого кольца + БМО)  $554+54 = 608$  км, размеры движения 2298 пар поездов в сутки (грузовое – 322, пассажирское – 350, пригородное – 1626), общая протяженность железнодорожных приемо-отправочных и сортировочных линий Мосузла – 1890 км, инфраструктура включает 6 сортировочных, 18 участковых, 31 грузовую, 9 пассажирских станций.

Оценивание класса Московского узла было произведено в сравнении с узлами СКЖД по 9 параметрам ( $L$  – протяженность путей главного хода узла, км;  $N$  – размер суточного поездопотока;  $n_{\text{пут}}$  – количество приемо-отправочных путей;  $R(t)$  – транспортная производительность;  $R^*(t)$  – размер транспортного действия;  $M(t)$  – временной размер движения;  $P(L)$  – линейная плотность поездопотока;  $P(Q)$  – грузонапряженность;  $k(n_{\text{пут}})$  – степень использования узловой инфраструктуры) без учета коэффициентов связи и достижимости и средневзвешенного класса узла из-за отсутствия данных по сравнению с узлами СКЖД.

Согласно произведенным расчетам бальная оценка Московского узла составила 97 баллов, что соответствует I классу. Стоит отметить, что при введении в систему оценивания такого крупного узла, как Московский узел, снизилась бальная оценка 17 узлов СКЖД (так как они значительно уступают крупнейшему узлу России). Например, баллы Лиховского узла изменились с 64 до 29. Это связано с тем, что предложенная методика классификации динамична. Рост или снижение показателей работы любого из оцениваемых узлов приведет к переоценке класса, что важно в условиях постоянно меняю-

щихся рыночных условий (изменение объема перевозок). Данная «скользящая» методика позволит определить «перспективность» развития узлов - необходимый рост параметров узла для перехода на новый уровень (вышестоящий класс). Минусом данной методики может быть отсутствие «закрепленных требований» для отнесения к каждому из классов. В Российской Федерации на данный момент более 500 узлов. В будущем полное исследование узловых структур и их транспортной работы позволит сформировать «фиксированные требования».

В соответствии со «Стратегией развития железнодорожного транспорта до 2030 г.» предусматривается развития Краснодарского узла со строительством обхода на участке Котельниково – Тихорецкая – Кореновск – Тимашевская – Крымская.

Основными результатами данного проекта будут увеличение грузопотока в порты Азово-Черноморского побережья и Крым, оптимизация работы Краснодарского узла за счет переключения грузового движения в обход на участок Тимашевская – Крымская, а также вынос железнодорожных путей из центра Краснодара (рис. 4.5).

Выделены следующие этапы проектирования:

- 1 – реконструкция разъезда Козырьки;
- 2 – строительство станции Гречаная;
- 3 – строительство двухпутной электрифицированной ж.-д. линии на участке Козырьки – Гречаная (протяженностью 65 км) со строительством новой станции Кирпили;
- 4 – строительство тяговой подстанции на ст. Кирпили.

## Реконструкция участка Котельниково-Тихорецкая-Крымская с обходом Краснодарского узла

В период 2007-2013 гг. на реализацию проекта вложено 28,73 млрд. руб.  
Введено в эксплуатацию 221,834 км вторых путей.

До 2019 г. необходимо построить 241,65 км вторых путей, потребность средств с учетом Обхода Краснодарского узла составит 71,5 млрд. рублей.



Рисунок 4.5 – Схема инфраструктурного развития Краснодарского узла [40]

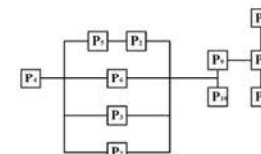
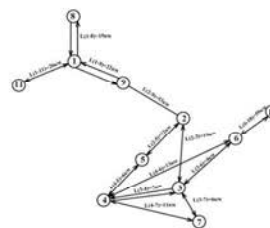
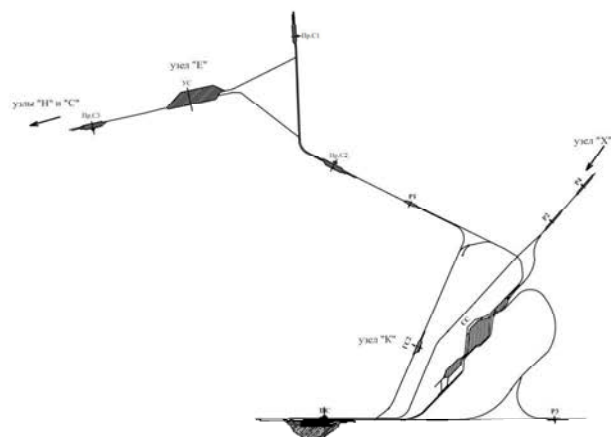
Для оценки изменения устойчивости структуры в связи с реконструкцией был произведен расчет уровня организации и графоаналитическая оценка структур объединенных Краснодарского и Тимашевского узлов (рис. 4.6). Грузопоток с Тихорецкого узла будет направлен в порты Новороссийского и Крымского узлов в обход Краснодара через Тимашевский узел. Результаты расчетов приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9 – Ведомость расчета устойчивости объединенных узлов «К» и «Е»

| Показатели узла            | $\rho = \frac{e^{-\lambda t}}{q - (1 - e^{-\lambda t})}$ | $N/N_{\max}$ | $K_{\text{внутр}}$ | $K_{\text{внешн}}$ | $K_{\text{уст}}$ |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|------------------|
| До строительства обхода    | 0,06/0,94                                                | 0,33/3,58    | 0,909              | 0,949              | 0,909            |
| После строительства обхода | 0,05/0,95                                                | 0,24/3,46    | 0,932              | 0,976              | 0,932            |

Из табл. 4.9 следует, что после строительства обхода Краснодарского узла и станции Гречаная энтропия снизится с 0,33 до 0,29, устойчивость увеличится с 0,909 до 0,932. Экономическая эффективность выполненных мероприятий определена в главе 5 диссертации на основе изменения стоимости внутриузловых грузоперевозок. На рис. 4.7 – 4.8 представлены окна НМК по расчету внешней и внутренней устойчивости.

а



б

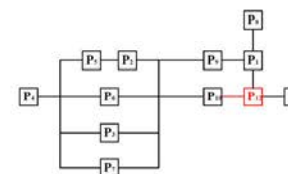
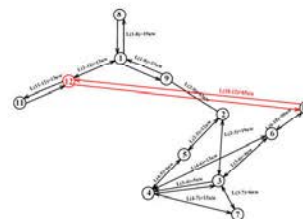
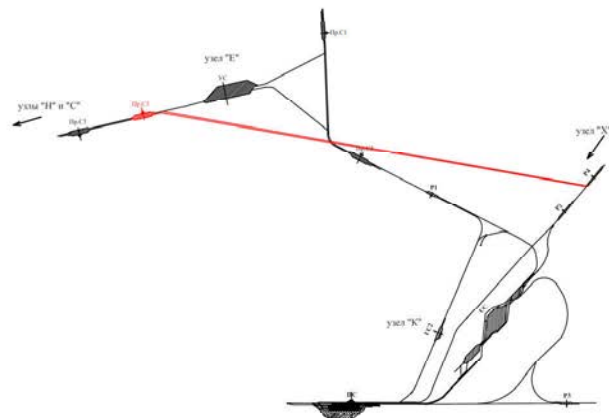
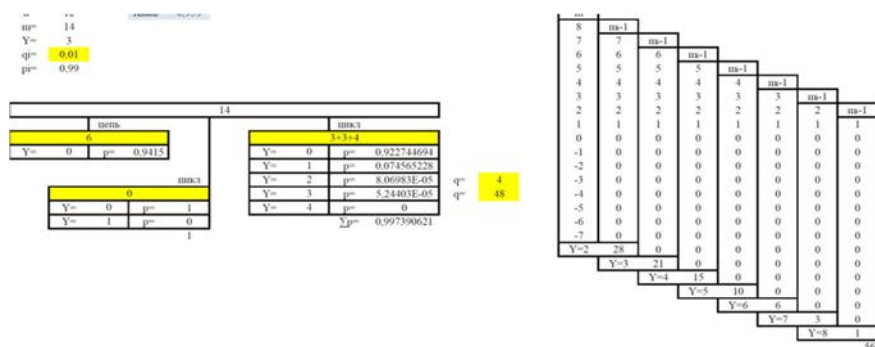


Рисунок 4.6 – Схема, граф и вероятностная модель объединенных железнодорожных узлов «К» и «Е»:  
а – до строительства обхода, б – после строительства обхода

а



б

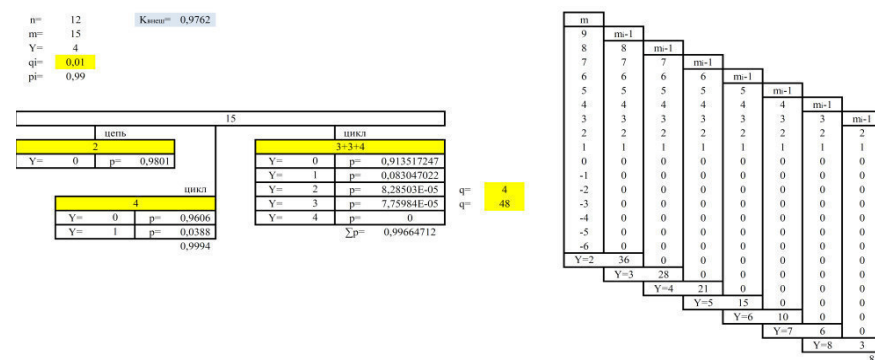


Рисунок 4.7 – Окно НМК по определению внешней устойчивости:

а – без обхода; б – с обходом

а

| №  | Тип   | ПОП | СП    | m  | Nmax  | P    |
|----|-------|-----|-------|----|-------|------|
| 1  | УС    | 12  | 9     | 21 | 1,190 | 0,31 |
| 2  | P1    | 2   | 0     | 2  | 0,113 | 0,89 |
| 3  | СС    | 20  | 27    | 47 | 2,663 | 0,07 |
| 4  | ПС    | 10  | 10    | 20 | 1,133 | 0,32 |
| 5  | ГС    | 7   | 0     | 7  | 0,397 | 0,67 |
| 6  | P2    | 2   | 0     | 2  | 0,113 | 0,89 |
| 7  | P3    | 2   | 0     | 2  | 0,113 | 0,89 |
| 8  | Пр.С1 | 2   | 0     | 2  | 0,113 | 0,89 |
| 9  | Пр.С2 | 3   | 0     | 3  | 0,170 | 0,84 |
| 10 | P4    | 3   | 0,000 | 3  | 0,170 | 0,84 |
| 11 | Пр.С3 | 4   | 0,000 | 4  | 0,227 | 0,80 |
| 12 | Пр.С4 | 4   | 0,000 | 4  | 0,227 | 0,80 |

$$N_{cr} = 12,00$$

$$P = 0,06 \quad q = 0,94$$

$$H = 0,33 \quad H_{max} = 3,58$$

$$R = 0,909$$

б

| №  | Тип   | ПОП | СП    | m  | Nmax  | P    |
|----|-------|-----|-------|----|-------|------|
| 1  | УС    | 12  | 9     | 21 | 1,190 | 0,31 |
| 2  | P1    | 2   | 0     | 2  | 0,113 | 0,89 |
| 3  | СС    | 20  | 27    | 47 | 2,663 | 0,07 |
| 4  | ПС    | 10  | 10    | 20 | 1,133 | 0,32 |
| 5  | ГС    | 7   | 0     | 7  | 0,397 | 0,67 |
| 6  | P2    | 2   | 0     | 2  | 0,113 | 0,89 |
| 7  | P3    | 2   | 0     | 2  | 0,113 | 0,89 |
| 8  | Пр.С1 | 2   | 0     | 2  | 0,113 | 0,89 |
| 9  | Пр.С2 | 3   | 0     | 3  | 0,170 | 0,84 |
| 10 | P4    | 3   | 0,000 | 3  | 0,170 | 0,84 |
| 11 | Пр.С3 | 4   | 0,000 | 4  | 0,227 | 0,80 |
| 12 | Пр.С4 | 4   | 0,000 | 4  | 0,227 | 0,80 |

$$N_{cr} = 12,00$$

$$P = 0,04 \quad q = 0,96$$

$$H = 0,24 \quad H_{max} = 3,58$$

$$R = 0,932$$

Рисунок 4.8 – Окно НМК по определению внутренней устойчивости:

а – без обхода; б – с обходом

#### 4.5. Выводы по главе

В четвертой главе диссертации разработана перспективная системная классификация железнодорожных узлов на основе модифицированных показателей схем и уровней организации транспортной работы. Оценочные показатели сводятся к безразмерному динамическому оценочному критерию по методике теории принятия решений на основе критерия произведений, критерия Гурвица и модифицированного критерия Гермейера.

Разработанный метод оценки и его критерии имеют динамический характер, т.е. не зависят от категории исследуемых транспортных объектов и могут применяться как для ранжирования подклассов и классов узловых структур от микроуровня (микроузел с одной станцией) до макроуровня (крупнейшие транспортные узлы).

Предлагаемая системная классификация включает пять рангов: малые ж.-д. узлы, средние ж.-д. узлы, крупные ж.-д. узлы (2-й тип), крупные ж.-д. узлы (1-й тип), крупнейшие ж.-д. узлы. В результате расчетов балльного рейтинга определено, что узел «Л» относится к II классу, узлы «Б», «К», «З», «В» относятся к III классу, узлы «Х», «Р», «С», «Ш», «Е», «М» - к IV классу, узлы «Т», «А», «И», «Ц», «Н», «П», «Г», «Ч» – V класса, крупнейшие кольцевые узлы (Московский) относятся к I классу.

Для исследования вопросов классификации железнодорожных узлов в рамках диссертационной работы была сформирована электронная база данных схем основных узлов и их показателей с созданием автоматизированного научно-методического комплекса оценки структур железнодорожных узлов на базе программных продуктов *MS Excel*, *AutoCad*, стандартов языка гипертекстовой разметки текста *HTML* и вида веб-страничной системы каскадных таблиц стилей *CSS*.

Апробация программного комплекса выполнена на основе автоматизированных расчетов класса кольцевых узлов и оценки строительства обходов узлов.

## **Глава 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР И УРОВНЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ**

### **5.1. Перспективы регионального транспортного и социально-экономического развития СКЭР**

Прогноз объемов региональных перевозок заключается в установлении тенденций изменения показателей прибытия и отправления грузов и разработке перспективной модели их развития на период до 2030 года.

При прогнозировании используется однофакторная модель, основанная на анализе динамических рядов, представляющих собой последовательность значений анализируемых показателей соответствующего года.

В диссертационной работе рассмотрены следующие методы определения тренда на основе сглаживания временных рядов (рис. 5.1): метод гармонических весов, эвристический метод, метод экспоненциального сглаживания, метод экстраполяции по степенной зависимости, метод экстраполяции по логистической кривой [10, 21].



Рисунок 5.1 – Методы прогнозирования

*Метод гармонических весов* в большей степени учитывает изменения последних лет, так как каждому значению временного ряда придается определенный вес, который учитывается при расчете прогнозируемой величины. При этом данные, относящиеся к ранним периодам ряда, имеют вес меньший, чем данные, близкие к концу этого ряда.

В соответствии с методом весь временной ряд разбивается на несколько равных последовательно перекрывающихся друг друга отрезков, а каждый отрезок на два подотрезка. В каждом отрезке обычно применяется не менее пяти точек. Для каждого отрезка определяется уравнение линейной регрессии:

$$\hat{y}_{k_i} = a_{k_i} \cdot t + b_{k_i} \quad (5.1)$$

где  $k_i$  - номер отрезка;  $a_{k_i}$ ,  $b_{k_i}$  - параметры линейной регрессии, равные:

$$a_{k_i} = \frac{\bar{y}_{k_i''} - \bar{y}_{k_i'}}{2,5} \quad (5.2)$$

$$b_{k_i} = \bar{y}_{k_i} - a_{k_i} \cdot \bar{t}_{k_i} \quad (5.3)$$

где  $\bar{y}_{k_i'}$ ,  $\bar{y}_{k_i''}$  - средние величины значений показателей подотрезков;  $\bar{y}_{k_i}$  - средняя величина значений показателя всего отрезка;  $\bar{t}_{k_i}$  - средняя величина значений точек ряда.

Если год ряда перекрыт несколькими отрезками, то для него находятся несколько расчетных значений и из них определяется среднее значение величины показателя:

$$\hat{y}_t^* = \frac{1}{l} \sum_1^l y_{k_l}, \quad (5.4)$$

где  $l$  - число отрезков, перекрывающих рассматриваемую точку.

Затем находится прирост расчетной величины путем уменьшения последующей величины на предыдущую:

$$\overline{\omega}_{t+i} = \hat{y}_{t+i}^* - \hat{y}_t^*. \quad (5.5)$$

Каждому году, вошедшему в динамический ряд, придается соответствующая поправка. Поправка для информации второго года ряда определяется величиной:

$$m_2 = \frac{1}{n-1} \quad (5.6)$$

где  $n$  - число точек временного ряда.

Другие значения ряда поправок определяются по следующей формуле:

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t} \quad (5.7)$$

где  $t = 2, 3, \dots, n-1$ .

Каждому приросту присваивается свой вес, обратно пропорциональный месту, занимаемому в динамическом ряду:

$$c_{t+1} = \frac{m_{t+1}}{n-1}. \quad (5.8)$$

Необходимым условием алгоритма является, чтобы сумма весов экстраполяции равнялась единице:

$$\sum_{t=1}^{n-1} c_{t+1} = 1. \quad (5.9)$$

Суммируя произведения прироста на его вес, получаем гармонический прирост:

$$\varpi = \sum_{t=1}^n c_{t+1} \cdot \bar{w}_{t+1} \quad (5.10)$$

После чего гармонический прирост прибавляем к расчетной величине показателя последнего года динамического ряда и получаем величину прогноза на год вперед:

$$\hat{y}_{t+i} = \hat{y}_t^* + \varpi \quad (5.11)$$

Таким образом, метод гармонических весов отражает не только общую тенденцию, но и прежде всего тенденцию, которая имела место в ближайшем прошлом.

*Эвристический метод* прогнозирования базируется на вычислении приростов. Всего во временном ряду насчитывается  $n-1$  прирост, каждый из

которых может быть положительным или отрицательным. Для каждого динамического ряда выбирается свой метод прогноза рассматриваемого показателя. Выделяют девять основных групп и моделей прогноза.

Таблица 5.1 - Характеристика основных групп и моделей эвристического метода прогноза

| №    | Область применения                                                                                                                                 | Модель прогноза                                                                                                                                                                           |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I    | Все приросты $d_t$ положительны и сумма двух последних приростов менее чем в 2 раза превышает сумму двух первых приростов или равна ей             | $y_{t+1} = y_t + \sum_{i=1}^n c_i d_i \quad (5.12)$ <p>где <math>y_t</math> - величина показателя в <math>t</math>-м году ряда;<br/> <math>c_i</math> - удельный вес <math>y_t</math></p> |
| II   | Все приросты $d_t$ положительны, сумма двух последних приростов превышает более чем в 2 раза сумму двух первых                                     | $y_{t+1} = y_t + \frac{d_2 + d_3}{2} \quad (5.13)$                                                                                                                                        |
| III  | Величина показателя растет из года в год, кроме последнего года динамического ряда.                                                                | $y_{t+1} = y_t + \frac{\min(d_2, d_3, \dots, d_{t-2})}{2} \quad (5.14)$                                                                                                                   |
| IV   | Первый прирост $d_2$ ( $d_1 = 0$ ) в рассматриваемом динамическом ряду отрицательный, а остальные положительные.                                   | $y_{t+1} = y_t + d_{t-1} \quad (5.15)$                                                                                                                                                    |
| V    | Динамический ряд характеризуется одним отрицательным приростом, относящимся в отличие от групп III и IV не к последнему и не к первому члену ряда. | $y_{t+1} = y_t + \min(d_2 \geq 0, \dots, d_{t-1} \geq 0) \quad (5.16)$                                                                                                                    |
| VI   | В рассматриваемом динамическом ряду имеются два отрицательных прироста подряд, а остальные – положительные.                                        | $y_{t+1} = y_t + \frac{d_t}{2} \quad (5.17)$ <p>где <math>d_t</math> - первый положительный прирост показателя после отрицательного.</p>                                                  |
| VII  | В динамическом ряду наблюдается только два отрицательных прироста, которых разделяет один год.                                                     | $y_{t+1} = y_t + \frac{d_t}{2} \quad (5.18)$ <p><math>npr d_{t-1} &lt; 0, d_{t+1} &lt; 0</math></p>                                                                                       |
| VIII | Динамический ряд характеризуется положительным приростом, кроме двух последних приростов.                                                          | $y_{t+1} = y_t + \frac{\min(d_{t-3}, d_{t-2})}{2} \quad (5.19)$                                                                                                                           |
| IX   | Имеется более двух отрицательных приростов, в том числе и последний прирост.                                                                       | $y_{t+1} = y_t \quad (5.20)$                                                                                                                                                              |

В методе экспоненциального сглаживания на основе временного ряда значений какого-либо показателя  $y_t (t=1,2,...,n)$  определяется среднее значение показателя за  $n$  периодов (формула (5.21)), затем за  $n-1$  периодов и т.д.

$$\bar{y}_t = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n} \quad (5.21)$$

После чего находится среднее значение периода:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{t=1}^n t}{n} \quad (5.22)$$

Затем производится расчет базового (исходного) тренда:

$$T_{t-2,t-1} = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} y_t t - (n-1)\bar{y}_t \bar{t}}{\sum_{t=1}^{n-1} t^2 - (n-1)\bar{t}^2}. \quad (5.23)$$

При наличии базовой величины можно определить прогнозируемую величину  $T_{t-1,t} = \alpha(\bar{y}_{t-1} - \bar{y}_{t-2}) + (1-\alpha)T_{t-2,t-1}$  (5.24),

где  $0,1 \leq \alpha \leq 0,3$ .

При этом принимается, что в будущем периоде временного ряда прогнозируемая величина тренда будет такая же, что и в последнем периоде динамического ряда, т.е.

$$T_{t,t+1} = T_{t-1,t}. \quad (5.25)$$

Затем определяется параметр сглаживания  $\beta$ , равный:

$$\beta = \frac{2}{n+1}. \quad (5.26)$$

По параметру сглаживания и прогнозируемой величине тренда, рассчитывается средневзвешенная величина рассматриваемого показателя за все годы ряда:

$$\bar{y}_t = \beta \cdot y_t + (1-\beta)(\bar{y}_{t-1} + T_{t-1,t}). \quad (5.27)$$

Прогнозируемая величина показателя на следующий год временного ряда определяется по следующей модели:

$$\hat{y}_{t+1} = \bar{y}_t + T_{t,t+1}. \quad (5.28)$$

Метод экстраполяции по степенной зависимости имеет вид

$$\hat{y}_t = a \cdot x_t^b \quad (5.29)$$

где  $\hat{y}_t$  – прогнозируемая величина показателя;

$x_t$  – порядковый номер члена динамического ряда;

$a, b$  – параметры модели.

Параметры модели определяются по следующим формулам:

$$b = \frac{n \sum_{t=1}^n \lg x_t \lg y_t - \sum_{t=1}^n \lg y_t \sum_{t=1}^n \lg x_t}{\sum_{t=1}^n \lg x_t \lg y_t - \sum_{t=1}^n \lg x_t \sum_{t=1}^n \lg x_t}, \quad (5.30)$$

$$\lg a = \frac{\sum_{t=1}^n \lg y_t - b \sum_{t=1}^n \lg x_t}{n}. \quad (5.31)$$

Метод экстраполяции по логистической кривой может использоваться как некоторое приближение к уровням динамических рядов показателей. Модель логистической кривой имеет вид:

$$\hat{y}_t = \frac{1}{a + bc^t} \quad (5.32)$$

где  $t$  – номер члена ряда,  $t = 0, 1, \dots, m$ ;  $a, b, c$  – параметры модели.

Для определения параметров модели прежде необходимо разбить весь динамический ряд на три равные группы. Далее рассчитываются групповые частные итоги:

$$S_1 = \sum_{t=0}^n \frac{1}{y_t}, \quad S_2 = \sum_{t=n+1}^{2n} \frac{1}{y_t}, \quad S_3 = \sum_{t=2n+1}^{3n} \frac{1}{y_t}. \quad (5.33)$$

Для упрощения расчетов величины, обратные  $y_t$ , можно умножить на число кратное 10, например  $10^6 = 1000000$ . После этого вычисляются первые разности между итогами:

$$d_1 = S_2 - S_1, \quad d_2 = S_3 - S_2. \quad (5.34)$$

Количество членов в каждой из групп равно  $n$ . Параметры модели (5.32) выводятся из следующих отношений:

$$c^n = \frac{d_2}{d_1} \quad (5.35)$$

$$b = \frac{d_1(c-1)}{(c^n-1)^2} \quad (5.36)$$

$$a = \frac{1}{n} \left( S_1 - \frac{d_1}{c^n-1} \right). \quad (5.37)$$

В качестве исходных данных для прогнозирования использованы показатели прибытия и отправления грузов железнодорожным транспортом в тыс. т за 2008-2015 гг. субъектов СКЭР [103], представленные в табл. 5.2-5.3.

Таблица 5.2 - Прибытие грузов железнодорожным транспортом общего пользования субъектов СКЭР, тыс. т

| Годы<br>Субъекты<br>СКЭР            | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Республика Дагестан                 | 10291  | 10424  | 9513   | 9103   | 8378   | 8773   | 8289   | 8619   |
| Республика Ингушетия                | 325    | 362    | 411    | 422    | 467    | 484    | 456    | 475    |
| Кабардино-Балкарская Республика     | 852    | 959    | 743    | 758    | 723    | 697    | 575    | 585    |
| Карачаево-Черкесская Республика     | 782    | 654    | 547    | 763    | 789    | 735    | 694    | 594    |
| Республика Северная Осетия - Алания | 1608   | 1536   | 1213   | 1172   | 1127   | 1285   | 1165   | 1003   |
| Чеченская Республика                | 1129   | 1375   | 1342   | 1133   | 1071   | 980    | 858    | 744    |
| Ставропольский край                 | 5912   | 6186   | 4803   | 5408   | 5293   | 4637   | 4614   | 3948   |
| Республика Адыгея                   | 446    | 504    | 449    | 416    | 489    | 603    | 512    | 538    |
| Республика Калмыкия                 | 300    | 307    | 436    | 205    | 178    | 205    | 176    | 304    |
| Краснодарский край                  | 81233  | 78173  | 83696  | 87099  | 89095  | 95866  | 93821  | 91783  |
| Ростовская область                  | 42464  | 43645  | 33522  | 38804  | 39643  | 38800  | 33068  | 25241  |
| Итого                               | 145342 | 144125 | 136675 | 145283 | 147253 | 153065 | 144228 | 133834 |

Таблица 5.3 – Отправление грузов железнодорожным транспортом общего пользования субъектов СКЭР, тыс. т

| Годы<br>Субъекты СКЭР             | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Республика Дагестан               | 2459  | 2751  | 1806  | 2184  | 2745  | 3088  | 3186  | 2714  |
| Республика Ингушетия              | 190   | 172   | 106   | 64    | 76    | 69    | 67    | 80    |
| Кабардино-Балкарская Республика   | 1254  | 1256  | 810   | 547   | 566   | 868   | 769   | 599   |
| Карачаево-Черкесская Республика   | 2924  | 2238  | 2555  | 2898  | 2833  | 2526  | 2372  | 1808  |
| Республика Северная Осетия-Алания | 2106  | 2046  | 1443  | 1669  | 1603  | 1562  | 1342  | 1128  |
| Чеченская Республика              | 2358  | 2150  | 1621  | 1151  | 877   | 766   | 716   | 467   |
| Ставропольский край               | 11500 | 10593 | 9087  | 7517  | 8687  | 8016  | 7321  | 7752  |
| Республика Адыгея                 | 576   | 472   | 520   | 1274  | 2225  | 1895  | 1672  | 902   |
| Республика Калмыкия               | 65    | 56    | 51    | 13    | 41    | 42    | 44    | 85    |
| Краснодарский край                | 34097 | 32867 | 30398 | 36875 | 39993 | 38926 | 35134 | 31300 |
| Ростовская область                | 24958 | 27522 | 16069 | 22518 | 24982 | 26128 | 24062 | 20738 |
| Итого                             | 82487 | 82123 | 64466 | 76710 | 84628 | 83886 | 76685 | 67573 |

Для выбора варианта прогнозирования перевозок грузов по описанным выше пяти методам осуществляется прогноз на 2015 год. Далее прогнозное значение сравнивается с фактическим объемом перевозок за отчетный год и определяется ошибка прогноза. Наилучшим методом для прогнозирования объемов прибытия-отправления является метод с наименьшей ошибкой.

#### *Расчет объемов прибытия методом гармонических весов*

Динамический ряд изменения величин выгрузки с 2008 по 2014 гг. представлен в табл. 5.4.

Таблица 5.4 - Динамический ряд изменения величин прибытия, тыс. тонн

| Годы   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Тыс. т | 145342 | 144125 | 136675 | 145283 | 147253 | 153065 | 144228 |

Данный динамический ряд, состоящий из 7 точек, разбиваем на 3 равных отрезка по 5 точек в каждом. Первый отрезок включает 2008-2012 гг.

$$\text{Средняя величина значений точек ряда } \bar{t}_{k_i} = \frac{1+2+3+4+5}{5} = 3.$$

К первому подотрезку относят все точки ряда  $k_1$ , меньшие или равные  $\bar{t}_{k_1}$ , а ко второму - большие  $\bar{t}_{k_1}$ . Средние величины выгрузки соответственно для отрезка  $k_1$  и подотрезков  $k_1'$ ,  $k_1''$ :

$$y_{k_1} = \frac{145342 + 144125 + 136675 + 145283 + 147253}{5} = 143735,6 \text{ тыс. т,}$$

$$y_{k_1'} = \frac{145342 + 144125 + 136675}{3} = 142047,33 \text{ тыс. т,}$$

$$y_{k_1''} = \frac{145283 + 147253}{2} = 146268 \text{ тыс. т,}$$

Параметры линейной регрессии согласно формулам (5.2), (5.3):

$$a_{k_1} = \frac{146268 - 142047,33}{2,5} = 1688,27$$

$$b_{k_1} = 143735,6 - 1688,27 \cdot 3 = 138670,8$$

Следовательно, уравнение регрессии для первого отрезка имеет следующий вид  $\hat{y}_{k_1} = 1688,27t + 138670,8$  тыс. т.

Аналогичные действия производим для второго и третьего отрезков и получаем уравнения регрессии:

$$\hat{y}_{k_2} = 3252,53t + 135522,6 \text{ тыс. т,}$$

$$\hat{y}_{k_3} = 2230,47t + 138609,4 \text{ тыс. т.}$$

Все полученные расчетные значения объемов выгрузки представлены в табл. 5.5.

Таблица 5.5 – Значения характеристик динамического ряда объемов прибытия

| Характеристики       | 1      | 2      | 3       | 4       | 5       | 6       | 7      |
|----------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
| $\hat{y}_{k_1}$      | 140359 | 142047 | 143736  | 145424  | 147112  |         |        |
| $\hat{y}_{k_2}$      |        | 138775 | 142028  | 145280  | 148533  | 151785  |        |
| $\hat{y}_{k_3}$      |        |        | 140840  | 143070  | 145301  | 147531  | 149762 |
| $\hat{y}_t^*$        | 140359 | 140411 | 142201  | 144592  | 146982  | 149658  | 149762 |
| $\bar{\omega}_{t+1}$ | -      | 52,17  | 1789,81 | 2390,42 | 2390,42 | 2676,38 | 103,47 |

По формулам (5.6), (5.7) определяем поправки для каждого года:

$$\begin{aligned} m_1 &= 0, & m_5 &= 0,62 + \frac{1}{7-4} = 0,95, \\ m_2 &= \frac{1}{7-1} = 0,17, & m_6 &= 0,95 + \frac{1}{7-5} = 1,45, \\ m_3 &= 0,17 + \frac{1}{7-2} = 0,37, & m_7 &= 1,45 + \frac{1}{7-6} = 2,45. \\ m_4 &= 0,37 + \frac{1}{7-3} = 0,62, \end{aligned}$$

Вес соответствующего прироста по формуле (5.8) равен:

$$\begin{aligned} c_1 &= 0, & c_5 &= 0,158, \\ c_2 &= 0,028, & c_6 &= 0,241, \\ c_3 &= 0,062, & c_7 &= 0,408. \\ c_4 &= 0,103, \end{aligned}$$

Условие алгоритма (5.9) выполняется  $\sum_{t=1}^7 c = 1$ .

Гармонический прирост равен  $\varpi = 1424,03$  тыс. т.

Следовательно, прогнозируемая величина объемов прибытия на 2015 год составит  $\hat{y}_{2014} = 149761,74 + 1424,03 = 151185,77$  тыс. т.

Фактическая величина прибытия на 2015 год составила 133834 тыс. тонн. Ошибка равна 12,97 %.

#### *Расчет объемов прибытия по эвристическому методу*

Динамический ряд изменения величин выгрузки с 2008 по 2014 гг. представлен в табл. 5.6.

Таблица 5.6 – Динамический ряд изменения величин прибытия, тыс. т

| Годы      | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Тыс. тонн | 145342 | 144125 | 136675 | 145283 | 147253 | 153065 | 144228 |
| Прирост   | -      | -1217  | -7450  | 8608   | 1970   | 5812   | -8837  |

Данный динамический ряд относится к IX группе и согласно модели прогноза (формула (5.20)) расчетная величина прибытия в 2015 году равна  $y_{t+1} = y_t = 144228$  тыс. т. Величина ошибки равна – 7,77%.

*Расчет объемов прибытия по методу экспоненциального сглаживания*

Согласно формулам (5.21) - (5.28) произведем расчет:

$$\begin{aligned}\bar{y}_7 &= 145138,71 \text{ тыс. т} & \bar{y}_3 &= 142047,33 \text{ тыс. т} \\ \bar{y}_6 &= 145290,5 \text{ тыс. т} & \bar{y}_2 &= 144733,5 \text{ тыс. т} \\ \bar{y}_5 &= 143735,6 \text{ тыс. т} & \bar{y}_1 &= 145342 \text{ тыс. т} \\ \bar{y}_4 &= 142856,25 \text{ тыс. т}\end{aligned}$$

$$\text{Среднее значение периода } \bar{t}_{k_i} = \frac{1+2+3+4+5+6+7}{7} = 4.$$

Базовый тренд

$$T_{5,6} = 36405,61$$

$$T_{6,7} = 0,2 \cdot (145290,5 - 143735,6) + (1 - 0,2) \cdot 36405,61 = 29435,47$$

$$T_{7,8} = T_{6,7} = 29435,47$$

$$\text{Параметр сглаживания } \beta = \frac{2}{7+1} = 0,25$$

$$\bar{y}_7 = 0,25 \cdot 144228 + (1 - 0,25)(144228 + 29435,47) = 167101,48 \text{ тыс. т}$$

Прогнозируемая величина объемов прибытия на 2015 год составит:

$$\hat{y}_8 = 167101,48 + 29435,47 = 196536,94 \text{ тыс. т.}$$

Величина ошибки равна – 46,85 %.

*Расчет объемов прибытия методом экстраполяции по степенной зависимости*

Таблица 5.7 – Исходные данные и расчетные характеристики для прогноза объемов прибытия, тыс. т

| Год      | $x_t$ | $\lg x_t$ | $(\lg x_t)^2$ | $y_t$     | $\lg y_t$ | $\lg x_t \lg y_t$ |
|----------|-------|-----------|---------------|-----------|-----------|-------------------|
| 2008     | 1     | 0,00      | 0,00          | 145342,00 | 5,16      | 0,00              |
| 2009     | 2     | 0,30      | 0,09          | 144125,00 | 5,16      | 1,55              |
| 2010     | 3     | 0,48      | 0,23          | 136675,00 | 5,14      | 2,45              |
| 2011     | 4     | 0,60      | 0,36          | 145283,00 | 5,16      | 3,11              |
| 2012     | 5     | 0,70      | 0,49          | 147253,00 | 5,17      | 3,61              |
| 2013     | 6     | 0,78      | 0,61          | 153065,00 | 5,18      | 4,03              |
| 2014     | 7     | 0,85      | 0,71          | 144228,00 | 5,16      | 4,36              |
| $\Sigma$ | -     | 3,70      | 2,49          | -         | 36,13     | 19,12             |

Соответственно параметры модели:

$$b = \frac{7 \cdot 19,12 - 36,13 \cdot 3,7}{19,12 - 2,49} = 0,0004$$

$$\lg a = \frac{36,13 - 0,04 \cdot 3,7}{7} = 5,16 \Rightarrow a = 144996,45$$

Таким образом, уравнение степенной зависимости на 2015 год имеет вид  $\hat{y}_{2015} = 144996,45 \cdot 8^{0,0004}$ ,  $\hat{y}_{2015} = 145120,48$  тыс. т. Ошибка составила – 8,43 %.

*Расчет объемов прибытия методом экстраполяции по логистической кривой.*

Согласно формулам (5.32)-(5.40) вычислим объем погрузки на 2015 год. Для этого разобьем динамический ряд прибытия грузов с 2009 по 2014 гг. на три группы по два члена.

Групповые частные итоги:

$$S_1 = \sum_{t=1}^2 \frac{1000000}{y_t} = 14,26, S_2 = \sum_{t=3}^4 \frac{1000000}{y_t} = 13,67, S_3 = \sum_{t=5}^6 \frac{1000000}{y_t} = 13,47$$

Разности между итогами  $d_1 = 13,67 - 14,26 = -0,59$ ,  $d_2 = 13,47 - 13,67 = -0,2$

$$c^2 = \frac{-0,2}{-0,59} = 0,36 \Rightarrow c = 0,6$$

Параметры модели:

$$b = \frac{-0,59 \cdot (0,6 - 1)}{(0,36 - 1)^2} = 0,57, a = \frac{1}{2} \cdot (14,26 - \frac{-0,59}{0,36 - 1}) = 6,68$$

Следовательно, модель имеет вид  $\hat{y}_t = \frac{1000000}{6,68 + 0,58 \cdot 0,6^t}$ .

При  $t = 7$ , что соответствует 2015 году:

$$\hat{y}_{2015} = \frac{1000000}{6,68 + 0,58 \cdot 0,6^7} = 149591,6 \text{ тыс. т}$$

Сравнивая с фактической величиной прибытия на 2015 год, определяем, что ошибка составила 11,77 %.

Аналогично по методам определяют величину ошибки прогноза по отправлению грузов железнодорожным транспортом. Результаты расчетов сведены в табл. 5.8–5.9.

Таблица 5.8 – Варианты прогнозирования прибытия грузов

| Результаты | Методы              |               |                               |                       |                      |
|------------|---------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
|            | Гармонических весов | Эвристический | Экспоненциального сглаживания | Экстраполяция по      |                      |
|            |                     |               |                               | степенной зависимости | логистической кривой |
| Прогноз    | 151185,77           | 144228,00     | 196536,94                     | 145120,48             | 149591,60            |
| $\Delta$   | 17351,77            | 10394,00      | 62702,94                      | 11286,48              | 15757,60             |
| Ошибка, %  | 12,97               | 7,77          | 46,85                         | 8,43                  | 11,77                |

Таблица 5.9 – Варианты прогнозирования отправления грузов

| Результаты | Методы              |               |                               |                       |                      |
|------------|---------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
|            | Гармонических весов | Эвристический | Экспоненциального сглаживания | Экстраполяция по      |                      |
|            |                     |               |                               | степенной зависимости | логистической кривой |
| Прогноз    | 82013,26            | 76685,00      | 106855,27                     | 78408,96              | нет <sup>1</sup>     |
| $\Delta$   | 14440,26            | 9112,00       | 39282,27                      | 10835,96              | нет                  |
| Ошибка, %  | 21,37               | 13,48         | 58,13                         | 16,04                 | нет                  |

По результатам расчетов для прогнозирования объемов прибытия-отправления грузов железнодорожным транспортом выбираем эвристический метод. Согласно прогнозу по эвристическому методу в 2020 году прибытие составит 150138 тыс. т. (+12% по отношению к 2015 г.), отправление в 2020 году составит 86582,5 тыс. т. (+28% по отношению к 2015 г.).

<sup>1</sup> Данный метод не подходит. Параметр  $c$  модели (4.32) не может быть определен, т.к. по расчетам формулы 4.35  $c^n < 0$ .

### 5.1.1. Стратегические программы развития узловой инфраструктуры

Как отмечается в [134], «...эффективное функционирование железнодорожного транспорта Российской Федерации играет исключительную роль в создании условий для модернизации, перехода на инновационный путь развития и устойчивого роста национальной экономики, способствует созданию условий для обеспечения лидерства России в мировой экономической системе. От состояния и качества работы железнодорожного транспорта зависят не только перспективы дальнейшего социально-экономического развития, но также возможности государства эффективно выполнять такие важнейшие функции, как защита национального суверенитета и безопасности страны, обеспечение потребности граждан в перевозках, создание условий для выравнивания социально-экономического развития регионов».

«Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 г.» включает в себя 2 этапа: 1 этап - модернизация железнодорожного транспорта в 2013-2020 гг. для обеспечения пропускных способностей на основных направлениях перевозок, модернизации объектов инфраструктуры, обеспечения перевозок подвижным составом, строительства первоочередных железнодорожных линий; 2 этап – динамичное расширение железнодорожной сети в 2021-2030 гг.

Предусматривается интенсивное развитие портовых мощностей в Северо-Западном регионе и на Юге России при увеличении объемов международной торговли, что приведет к росту объемов грузовых железнодорожных перевозок на подходах к Санкт-Петербургскому и Мурманскому железнодорожным узлам в 1,5-2 раза, Северному Кавказу – в 2 раза. На подходах к Северному Кавказу также прогнозируются существенный прирост объемов пассажирских перевозок в дальнем следовании, за счет назначения большого количества летних и дополнительных поездов, а также организации движения высокоскоростных поездов на направлении Центр – Юг.

Для реализации Стратегии предусматривается перечень работ по развитию узловой инфраструктуры, приведенный в табл. 5.10 [100].

Таблица 5.10 – Ведомость стратегических мероприятий по развитию узлов

| Наименование объекта                                                                                  | Цель строительства                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Обход Краснодарского узла протяженностью в 65 км                                                      | Усиление пропускной способности и вынос транзитного грузового движения из крупных железнодорожных узлов |
| Обход Саратовского узла протяженностью в 38 км<br>Стоимость – 32,2 млрд. руб.                         | Усиление пропускной способности и вынос транзитного грузового движения из крупных железнодорожных узлов |
| Глубокий обход Московского узла протяженностью в 626 км<br>Стоимость – 36,2 млрд. руб.                | Усиление пропускной способности и вынос транзитного грузового движения из крупных железнодорожных узлов |
| Обход Омского узла (Татарская – Называевская) протяженностью в 295 км<br>Стоимость – 121,4 млрд. руб. | Усиление пропускной способности и вынос транзитного грузового движения из крупных железнодорожных узлов |
| Обход Ярославского узла протяженностью в 27 км                                                        | Усиление пропускной способности и вынос транзитного грузового движения из крупных железнодорожных узлов |
| Обход Пермского узла протяженностью в 140 км                                                          | Усиление пропускной способности и вынос транзитного грузового движения из крупных железнодорожных узлов |
| Обход Читинского узла протяженностью в 27 км                                                          | Усиление пропускной способности и вынос транзитного грузового движения из крупных железнодорожных узлов |
| Обход Иркутского узла протяженностью в 50 км                                                          | Усиление пропускной способности и вынос транзитного грузового движения из крупных железнодорожных узлов |
| Обход Новосибирского узла протяженностью в 50 км                                                      | Усиление пропускной способности и вынос транзитного грузового движения из крупных железнодорожных узлов |
| Обход Калининградского узла протяженностью в 50 км                                                    | Вынос транзитного грузового движения за черту города                                                    |
| Обход г. Санкт-Петербурга<br>Протяженность будет определена при строительстве                         | Вынос движения поездов с транзитными опасными грузами за пределы города                                 |

Таким образом перспектива развития железнодорожных узлов связана, в первую очередь, со строительством обходов, ликвидацией «узких мест» - усилением пропускных и перерабатывающих способностей узловых станций.

## 5.2. Экономическая привлекательность регионального транспортного развития

В современных рыночных условиях важную роль играет экономическая привлекательность регионов. Оценка привлекательности субъектов СКЭР РФ  $C_1, C_2, \dots, C_n$  сформирована с помощью линейных оценочных форм [11, 35]:

$$K(C_i) = \alpha_1 \cdot \theta_1 + \alpha_2 \cdot \theta_2 + \dots + \alpha_n \cdot \theta_n \quad (5.39)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – весовые нормировочные коэффициенты, причем  $\alpha_i \geq 0$  для всех  $i = 1, \dots, n$ ; а  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  – переменные.

Переменные  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  в оценочной форме  $K(\theta)$  соответствуют учитываемым значениям оценочных факторов. В роли оценочных факторов по оценке экономической привлекательности субъектов предлагается шесть основных показателей железнодорожного транспорта:  $\theta_1$  – эксплуатационная длина путей, км;  $\theta_2$  – плотность путей, км/га;  $\theta_3$  – отправление грузов, тыс. т.;  $\theta_4$  – прибытие грузов, тыс. т.;  $\theta_5$  – отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования, тыс. чел.;  $\theta_6$  – отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования в пригородном сообщении, тыс. чел. [103].

Предлагается определять значения нормировочных коэффициентов  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  линейной оценочной формы на основании максимального (наилучшего) значения заданного показателя среди всех субъектов  $C_1, C_2, \dots, C_n$ .

$$\alpha_i = w_i \cdot \frac{1}{\max \{\theta_i\}} \quad (5.40)$$

Слагаемое  $\alpha_i \cdot \theta_i$  у субъекта с наилучшим значением показателя  $\theta_i$  окажется равным единице, а у остальных регионов, с меньшим значением показателя  $\theta_i$ , оно будет положительным, но меньше единицы. Таким образом, каждое слагаемое линейной формы для любого из субъектов окажется равным по порядку и заключенным в интервале  $(0, 1]$ . Каждому из нормировоч-

ных коэффициентов можно задавать соответствующий вес  $w_i$  в зависимости от важности того или иного показателя. В данной работе всем пяти показателям задан один и тот же вес равный  $w_1 = w_2 = \dots = w_6 = 1$ .

Для наглядности при оценке экономической привлекательности введем два вспомогательных несуществующих региона: С+ – «идеальный» регион с наилучшими значениями по всем показателям  $\alpha_i \cdot \theta_i = 1$ , таким образом,  $K(C+) = 6$ ; С- – регион с наихудшими значениями по всем показателям  $\alpha_i \cdot \theta_i = 0$ ,  $K(C-) = 0$ .

В процентном соотношении к «идеальному» региону привлекательность оцениваемых регионов определяется следующим образом:

$$k_{\text{привлек}}^i = \frac{K(C_i)}{K(C+)} \cdot 100\% \quad (5.41)$$

Результаты расчетов экономической привлекательности субъектов СКЭР сведены в табл. 5.11.

Таблица 5.11 – Экономическая привлекательность субъектов СКЭР

| Субъект СКЭР                      | $\theta_1$ | $\theta_2$ | $\theta_3$ | $\theta_4$ | $\theta_5$ | $\theta_6$ | $K(C_i)$ | $k_{\text{привлек}}, \%$ |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|--------------------------|
| Республика Адыгея                 | 160,1      | 205        | 921        | 530        | 214        | 176        | 0,86     | 14,34                    |
| Республика Калмыкия               | 165,1      | 22         | 36         | 258        | 3          | 0          | 0,16     | 2,65                     |
| Краснодарский край                | 2139,9     | 283        | 31699      | 98090      | 18 993     | 12 299     | 5,99     | 99,92                    |
| Ростовская область                | 1841,1     | 182        | 18360      | 20226      | 14 289     | 12 362     | 4,04     | 67,38                    |
| Республика Дагестан               | 508,7      | 101        | 2277       | 9340       | 506        | 188        | 0,80     | 13,40                    |
| Республика Ингушетия              | 38,8       | 108        | 77         | 484        | 47         | 0          | 0,41     | 6,82                     |
| Кабардино-Балкарская Республика   | 133,3      | 107        | 666        | 605        | 492        | 364        | 0,52     | 8,70                     |
| Карачаево-Черкесская Республика   | 50,6       | 35         | 1487       | 411        | 53         | 53         | 0,21     | 3,45                     |
| Республика Северная Осетия-Алания | 143,8      | 180        | 798        | 1067       | 255        | 61         | 0,76     | 12,62                    |
| Чеченская Республика              | 304,1      | 195        | 406        | 681        | 111        | 21         | 0,86     | 14,31                    |
| Ставропольский край               | 921,8      | 139        | 7906       | 4198       | 5 273      | 4 260      | 1,84     | 30,62                    |
| Наилучший регион (С+)             | 2139,9     | 283        | 31699,0    | 98090,0    | 18993,0    | 12362,0    | 6,00     | 100,00                   |
| Наихудший регион (С-)             | 38,8       | 22,1       | 36,0       | 258,0      | 3,0        | 0,0        | 0,10     | 1,67                     |

Из таблицы 5.11 следует, что наилучшими показателями экономической привлекательности обладает Краснодарский край, который является «идеальным» регионом с 99,92 % привлекательностью, наихудшим с точки зрения экономики стала Республика Калмыкия с привлекательностью всего в 2,65%.

Результаты вышеприведенного расчета могут служить одним из подтверждающих показателей очередности регионального развития транспортной инфраструктуры.

### **5.2.1. Экономическая оценка увеличения пропускных способностей узлов**

Известно, что строительство и развитие узлов требует больших капитальных вложений, а эксплуатация – расходов на их содержание. При решении вопроса об увеличении пропускных способностей – строительстве обходов, путепроводных развязок, развитие узловых станций необходимо решить производственно-транспортную задачу, учитывающую изменение величины капитальных и эксплуатационных при различной степени организации внутриузловых перевозок.

Целевая функция задачи рациональной организации внутриузловых перевозок имеет вид [127]: 
$$\Pi = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_i \cdot c_{ij} \cdot L_{ij} + B \cdot E_n \rightarrow \min .$$

Решение транспортной задачи реализовано в кафедральном научно-методическом комплексе «НК–станция» [124] комбинаторным методом. Узел изображается в виде плоского топологического графа, вершинами которого являются станции, а ребрами (дугами) – расстояния между ними. Первоначально определяются места возможного размещения основной (сортировочной) станции в вершинах графа, а затем по разработанному алгоритму и про-

грамме расчета находится наилучший вариант организации внутриузловых перевозок с минимальными внутриузловыми транспортными расходами.

С применением комплекса была определена экономическая эффективность строительства обхода Краснодарского узла на основе изменения стоимости внутриузловых грузоперевозок (перераспределение грузопотока с направления Тихорецкого узла на Новороссийский и Крымский узлы в обход Краснодара) (рис. 5.2-5.3).

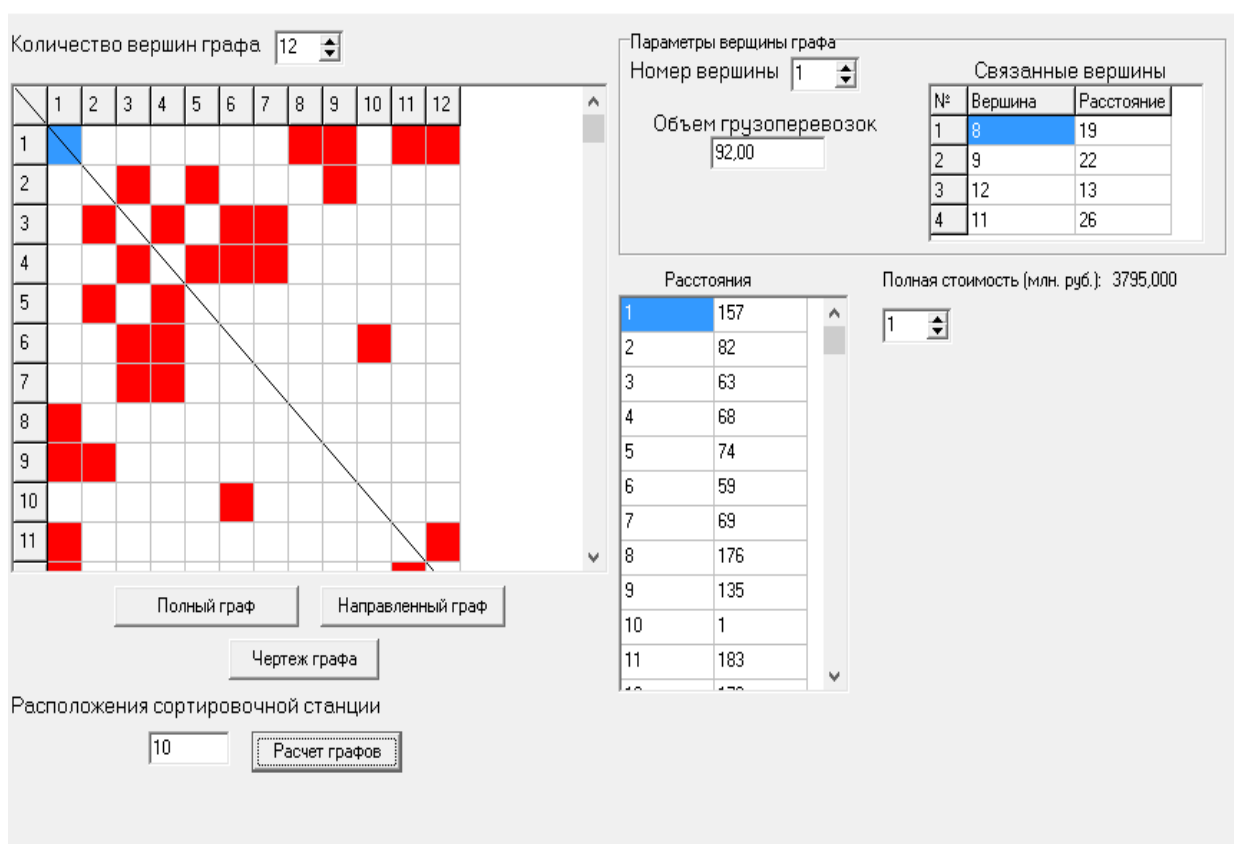


Рисунок 5.2 – Окно программы по расчету развоза груза без обхода Краснодарского узла

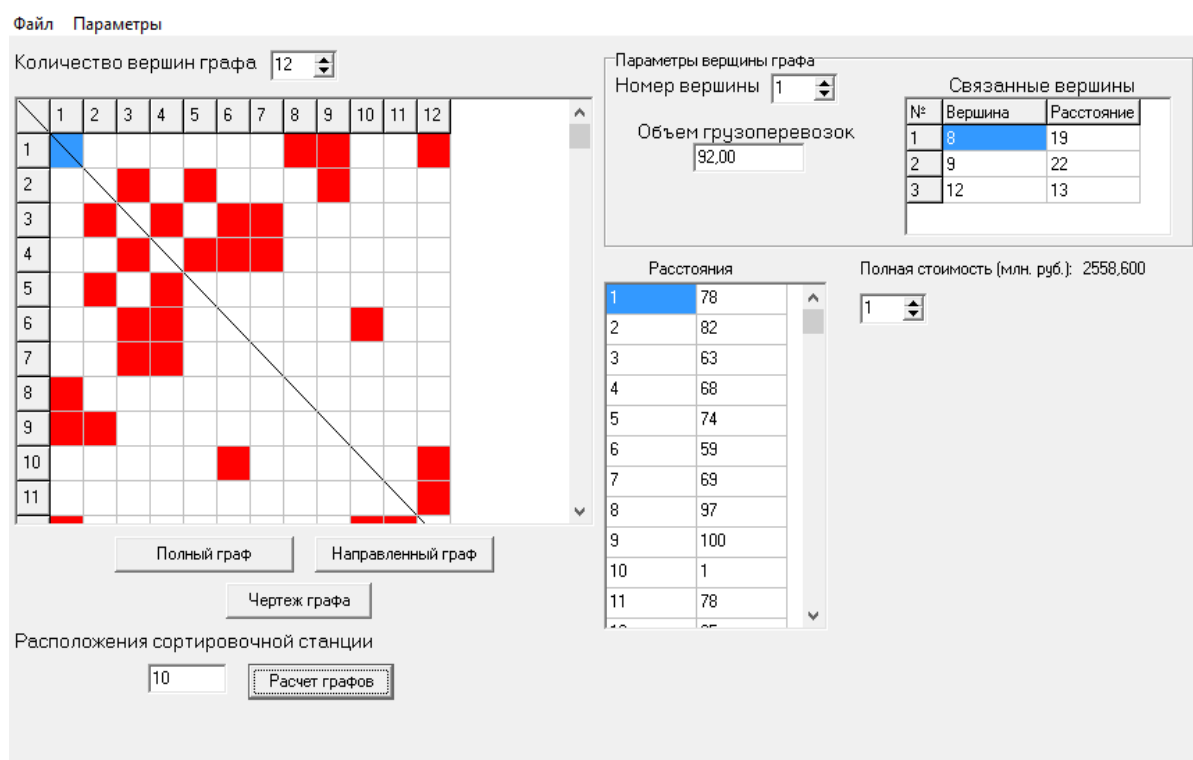


Рисунок 5.3 – Окно программы по расчету развоза груза после строительства обхода Краснодарского узла

При стоимости одного поезд-км пробега  $c_{ij} = 91,36$  руб. расходы составили: до строительства обхода узла - 3795 млн. руб./год, после строительства узла – 2558,6 млн. руб./год. Таким образом, экономия составит 1236,4 млн. руб./год.

При рационализации обходов в Ростовском узле по проектным предложениям экономится расходов на пропуске одного грузового поезда 639,24 руб. в год, общеузловая экономия средств составляет 11,7 млн. руб./год.

При развитии узлов возникают необходимости определения оптимальных углов путепроводных развязок при пересечении железнодорожных линий. Оптимальный угол путепроводной развязки выбирают по минимуму приведенных расходов на основе сравнения конкурентоспособных вариантов [35, 81]. Расходы в каждом варианте  $E_{пр} = EK + \mathcal{E}$ , где  $E$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (норма дисконта),  $E = 0,10$ ;  $\mathcal{E}$  – эксплуатационные расходы;  $K$  – капитальные вложения:

$$K = K_{сн} + K_{зр} + K_{иск} + K_{вс} + K_{дл} + K_{эл} + K_{пут} + K_3 + K_{пс} + K_{гр}, \quad (5.42)$$

где  $K_{\text{сн}}$  – затраты на снос зданий, перенос инженерных коммуникаций и др.;  $K_{\text{зр}}$  – то же на сооружение земляного полотна главного пути;  $K_{\text{иск}}$  – то же на строительство искусственных сооружений;  $K_{\text{вс}}$  – то же на укладку верхнего строения главного пути;  $K_{\text{дл}}$  – то же на устройства СЦБ, связи и освоение территории для трассы и др.;  $K_{\text{эл}}$  – то же на устройства энергоснабжения (для электрифицированных линий);  $K_{\text{пут}}$  – то же на строительство путепровода;  $K_3$  – то же на отвод занимаемых земель;  $K_{\text{пс}}$  – капитальные вложения в подвижной состав;  $K_{\text{гр}}$  – стоимость грузовой массы на колесах.

Эксплуатационные расходы:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{гр}} + \mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{п}} + \mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{пп}} + \mathcal{E}_{\text{гл}} + \mathcal{E}_{\text{пут}} \mathcal{E}_{\text{сн}} + \mathcal{E}_{\text{сцб}} + \mathcal{E}_{\text{св}} + \mathcal{E}_{\text{р}} + H_3 + A_{\text{пут}}, \quad (5.43)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{гр}} + \mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{п}} + \mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{пп}}$  – расходы на пробег соответственно грузовых, дальних пассажирских и пригородных поездов;  $\mathcal{E}_{\text{гл}} + \mathcal{E}_{\text{пут}}$  – то же на содержание главных путей, путепровода и искусственных сооружений;  $\mathcal{E}_{\text{сн}}$  – то же на снего-, водо- и пескоборьбу и содержание защитных лесонасаждений;  $\mathcal{E}_{\text{сцб}}, \mathcal{E}_{\text{св}}, \mathcal{E}_{\text{р}}$  – то же на содержание соответственно устройств СЦБ, связи и поездной радиосвязи;  $H_3$  – налог на землю;  $A_{\text{пут}}$  – амортизационные отчисления от стоимости путепровода.

Грузовые поезда:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{гр}} = 365 N_{\text{гр}} \left[ c_{\text{пк.гр}}^0 L_{\text{тр}} + A_{\text{гр}} (H + 0,012 \sum \alpha) + \right. \\ \left. + B_{\text{гр}} (H_{\text{с}} - 0,012 \sum \alpha_{\text{с}}) - B_{\text{гр}} L \right]. \end{aligned} \quad (5.44)$$

Дальние пассажирские поезда:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{п}} = 365 N_{\text{п}} \left[ c_{\text{пк.п}}^0 L_{\text{тр}} + A_{\text{п}} (H + 0,012 \sum \alpha) + \right. \\ \left. + B_{\text{п}} (H_{\text{с}} - 0,012 \sum \alpha_{\text{с}}) - B_{\text{п}} L_{\text{с}} \right], \end{aligned} \quad (5.45)$$

где  $N_{\text{гр}}, N_{\text{п}}$  – среднесуточное число грузовых и дальних пассажирских поездов на направлении  $B$ ;  $H$  – алгебраическая разность отметок конечной и начальной точек маршрута;  $\sum \alpha$  – сумма центральных углов поворота всех

кривых на маршруте;  $H_c$  – сумма высот всех спусков (крутизной больше предельно «безвредного» уклона) на маршруте в данном направлении движения поездов (всегда положительная величина);  $\sum \alpha_c$  – сумма центральных углов поворота кривых в пределах тормозных спусков;  $L_c$  – протяженность тормозных спусков;  $c_{пк.гр}^0, c_{пк.п}^0$  – норма расходов на 1 км пробега грузовых и дальних пассажирских поездов на площадке соответственно 41,76 и 32,27 руб./поездо-км;  $A_{гр}, A_{п}$  – нормы расходов на преодоление грузовым и дальним пассажирским поездами высоты 1 м соответственно 7,97 и 2,88 руб./м;  $B_{гр}, B_{п}$  – нормы дополнительных расходов на движение грузового и дальнего пассажирского поездов с подтормаживанием на каждый метр высоты тормозного спуска соответственно 12,06 и 3,9 руб./м;  $B_{гр}, B_{п}$  – поправка к величине расходов на тормозных спусках, учитывающая часть кинетической энергии поезда, поглощаемую основным удельным сопротивлением подвижного состава соответственно 36,16 и 13,76 руб./км.

Годовые эксплуатационные расходы на пробег пригородных поездов:

$$\mathcal{E}_{np}^{np} = 365 \cdot N_{np} \cdot L_{пг} \cdot c_{пр}, \quad (5.46)$$

где  $N$  – среднесуточное число пригородных поездов на направлении  $B$ ;

$c_{пр}$  – стоимость 1 км пробега пригородного поезда, принимается равной 6,1 руб./поездо-км.

Годовые расходы на содержание главных путей  $\mathcal{E}_{гл} = L_{тр} c_{гл}$ , где  $c_{гл}$  – норма расходов на содержание 1 км главного пути (123 тыс. руб./км).

Налог на землю определяется по формуле  $H_z = aK_z / 100$ , где  $a$  – ставка налога, 1 %.

В результате расчетов получено, что приведенные расходы имеют меньшие значения при углах пересечения путепроводом  $20^\circ$  и  $30^\circ$ .

С целью устранения «узких мест» узлов (одноуровневых пересечений, однопутных участков) определяется экономическая эффективность сооружения путепроводной развязки одноуровневого пересечения, когда затраты на

строительство и эксплуатацию путепровода окупаются сокращением эксплуатационных расходов:

$$E(K_{\text{п}} - K_0) + (\mathcal{E}'_{\text{п}} - \mathcal{E}'_0) \leq \mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_{\text{п}}, \quad (5.47)$$

где  $K_{\text{п}}$ ,  $K_0$  – затраты соответственно на сооружение путепроводной развязки и пересечения в одном уровне;  $\mathcal{E}'_{\text{п}}$ ,  $\mathcal{E}'_0$  – расходы соответственно на текущее содержание путепровода и пересечения;  $\mathcal{E}_0$ ,  $\mathcal{E}_{\text{п}}$  – эксплуатационные расходы при пересечениях в одном и разных уровнях.

Эксплуатационные расходы при пересечении в одном уровне:

$$\mathcal{E}_0 = 365 \left[ \left( c_{\text{п-ч}} \sum T_3 + c_{\text{кз}} f n_3 \right) \pm N \Delta t c_{\text{п-ч}} \right], \quad (5.48)$$

где  $\sum T_3$  – общее время задержек поездов у пересечения;  $n_3$  – число задержанных поездов;  $f$  – число остановок поезда, приходящееся на одну задержку;  $\Delta t$  – разность времени хода при пересечении в одном и разных уровнях;  $c_{\text{кз}}$  – расходы на один разгон и торможение поезда.

При размерах движения на участках более 24 пар поездов в сутки сооружение путепроводной развязки целесообразно [134].

### 5.2.2. Экономическая оценка устранения ограничения пропускной способности узловой инфраструктуры

Устранение «узких мест» в узлах (укладка вторых главных путей на перегонах, укладка стрелочных переводов пологих марок для повышенных скоростей движения по прямому и отклоненному пути, вынос из перегонных междупутий пассажирских платформ, увеличение прямых вставок и т.д.) должно выполняться в соответствии с нормативными документами [101]. Каждый вариант должен быть технико-экономически обоснован.

В результате реализации проекта определяется увеличение пропускной способности или выигрыш времени  $\Delta t_i$  на барьерном месте за счет увеличения значения ходовой скорости от существующего (до реконструкции) зна-

чения  $V_{\text{сущ}}$  до максимального на участке после реконструкции  $V_{\text{max}}$ . Необходимые величины определяются методами тяговых расчетов, а при отсутствии полных и достоверных исходных данных – приближенным методом. По этим данным определяется экономия затрат, связанных с движением поездов через «узкое место», в том числе денежная оценка экономии времени пассажиров.

Рассчитываются капитальные вложения  $K$  на переустройство и определяются дополнительные эксплуатационные расходы по вариантам на содержание постоянных устройств, связанных с движением поездов.

Типовыми методиками [62, 63, 64] рекомендуется в качестве одного из основных показателей выбора лучшего проектного варианта принимать чистый дисконтированный доход (ЧДД), модифицированная формула которого имеет вид:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (R_t - \mathcal{E}_t) \frac{1}{(1+E)^t} - \sum_{t=1}^T K_t \frac{1}{(1+E)^t} \rightarrow \max, \quad (5.49)$$

где  $T$  – продолжительность расчетного периода (15–20 лет);  $R_t$  – доход, достигаемый на  $t$ -м шаге расчета;  $\mathcal{E}_t$  – эксплуатационные расходы, осуществляемые на  $t$ -м шаге без учета капитальных вложений;  $K_t$  – капитальные вложения на  $t$ -м шаге;  $E$  – норма дисконта;  $\eta_{\mathcal{E}} = \frac{1}{(1+E)^t}$  – коэффициент дисконтирования, учитывающий уменьшение значимости затрат, совершаемых через  $t$  лет после начала расчетного периода.

При сравнении большого количества проектных вариантов используют формулу приведенных затрат при единовременных капиталовложениях и постоянных во времени эксплуатационных расходах:

$$\Pi = \mathcal{E}_{\Gamma} + E_{\Pi} \cdot K, \text{ млн руб.}, \quad (5.50)$$

где  $K$  – одноэтапные капитальные вложения по данному варианту, млн. руб.;  $\mathcal{E}_{\Gamma}$  – годовые эксплуатационные расходы по рассматриваемому варианту, млн. руб.;  $E_{\Pi}$  – коэффициент приведения капитальных вложений к текущим затратам, определяемый как обратная величина срока окупаемости  $T_{\Pi}$ ,  $E_{\Pi} = 1/T_{\Pi}$ .

Для учета фактора времени при оценке экономической эффективности вариантов, различающихся по срокам вложения затрат, используются коэффициенты отдаления и приведения затрат:

$$P_{от} = \frac{1}{(1+E_{н.п.})^t}; P_{пр} = (1 + E_{н.п.})^t. \quad (5.50)$$

где  $E_{н.п.}$  – норматив для приведения разновременных затрат, равный 0,08.

Тогда суммарные приведенные расходы к начальному году по варианту с поэтапными вложениями равны:

$$П_{от} = \sum_i \sum_t \frac{\partial_{it} + E_{н.п.} \cdot K_{it}}{(1+E_{н.п.})^t}, \quad (5.51)$$

где  $i = \overline{1, n}$  – этапы выполнения затрат;

$t = \overline{1, t_c}$  – суммирование от начального года до года ограничивающего период  $t_c$ .

Расчетный срок окупаемости дополнительных одноэтапных капиталовложений также определяется по формуле:

$$T_p = \frac{K_{пр}}{E_{сущ} - E_{пр}}, \text{ год}; \quad (5.52)$$

где  $K_{пр}$  – капиталовложения по проектному варианту, тыс. руб.;

$E_{сущ}$ ,  $E_{пр}$  – годовые эксплуатационные расходы по проектному и существующему варианту, тыс. руб.

В соответствии со «Стратегией развития железнодорожного транспорта» прогнозируется двукратное увеличение поездопотоков в направлении к припортовым узлам (Крымский, Новороссийский, Туапсинский, Сочинский). Согласно стратегии комплексная реконструкция участка им. М. Горького – Котельниково – Тихорецкая – Кореновск – Тимашевская – Крымская с обходом Краснодарского узла обойдется в 69,9 млрд. руб.

На примере Крымского узла в работе определены капитальные затраты на развитие отдельных пунктов: узловой участковой станции Вышестеблиевская – 368,4 млн. руб. и Крымская – 274,2 млн. руб., портовой станции Тенрюк – 239 млн. руб. и Кавказ – 227,5 млн. руб., промежуточной станции Юровская – 218,1 млн. руб. и пассажирской станции Анапа – 120 млн. руб.

Освоение перспективного грузопотока потребует увеличения пропускных способностей не только внутриузловых элементов, но и на подходах к нему. На участке Тихорецкая – Кореновск необходимо уложить второй главный путь длиной 72 км с продолжением и новым строительством линии Кореновск – Тимашевская длиной 42 км. Сумма затрат на строительство путей и электрификацию участков составит около 4,1 млрд. руб. На приобретение подвижного состава (локомотивы) в количестве 58 грузовых электровозов и 25 пассажирских (с учетом резерва  $k = 1,2$ ) потребуются средства из федерального бюджета в сумме 2,8 млрд. руб.

Существующие годовые эксплуатационные расходы дороги составляют около 30 млрд. руб. (в ценах 2010 г.) При росте поездопотоков в 2 раза годовые расходы по дороге будут возрастать не пропорционально, особенно в период строительства. Необходимо определить дополнительные эксплуатационные расходы по возросшим грузовым и пассажирским перевозкам.

$$\mathcal{E}_{\text{доп}} = Q_{\text{гр}} \cdot c_{\text{гр}} \cdot l_{\text{гр}} + Q_{\text{пор}} \cdot c_{\text{гр}} \cdot l_{\text{пор}} \cdot \alpha_{\text{пор}} + A_{\text{с}} \cdot c_{\text{пас}} \cdot l_{\text{пас}} \cdot k_{\text{з}} \text{ млн. руб.}, \quad (5.53)$$

где  $Q_{\text{гр}}$ ,  $Q_{\text{пор}}$  – годовые объемы перевозок в груженом и порожнем направлениях, млн. т;  $A_{\text{с}}$  – годовой пассажиропоток, млн. пассажиров;

$c_{\text{гр}}$ ,  $c_{\text{па}}$  – себестоимость грузовых ( $\frac{\text{руб}}{10 \text{ т км}}$ ) и пассажирских ( $\frac{\text{руб}}{10 \text{ пас км}}$ ) перевозок;

$l_{\text{гр, пор, пас}}$  – расстояния перевозок грузов и пассажиров, км;  $\alpha_{\text{пор}}$  – процент порожнего пробега вагонов;  $k_{\text{з}}$  – коэффициент пассажиронаселенности поезда.

$$\mathcal{E}_{\text{доп}} = 71,55 \cdot 1,54 \cdot \frac{1000}{10} + 26,7 \cdot 1,54 \cdot \frac{1000}{10} \cdot 0,7 + 3,2 \cdot 2,75 \cdot \frac{170}{10} \cdot 0,5 = 13979,1 \approx 14\,000 \text{ млн. руб.}$$

Эксплуатационные расходы на перевозочную внутриузловую деятельность определяются по формуле  $\mathcal{E}_{\text{уз}} = 2 \cdot 365 \sum N_i \cdot L_i \cdot c_i$ , млн. руб.

При дополнительных расходах дороги  $\mathcal{E}_{\text{доп}} = 14\,000$  млн. руб. с учетом внутриузловых перевозок  $\mathcal{E}_{\text{узн}} = 787,185$  млн руб. срок окупаемости капитальных вложений составит 7,03 года.

Прибыль от перевозочной деятельности определяется разностью доходов и расходов  $\Pi_{\text{р}} = \mathcal{D} - \mathcal{E}$ , млн руб.,  $\Pi_{\text{р}} = 1640,19$  млн руб. в год.

В целом на развитие станций, строительство двухпутных линий, обходов и развязок, электрификацию, диспетчерскую централизацию и автоблокировку участков Крымского железнодорожного узла (без учета затрат на строительство портов) по укрупненным расчетам потребуется около 11,5 млрд. руб. капитальных вложений.

### **5.3. Выводы по главе**

В пятой главе для выбора направлений развития южнороссийских узлов произведен прогноз объемов региональных перевозок в установлении тенденций изменения показателей прибытия и отправления грузов. По результатам расчетов для прогнозирования объемов прибытия-отправления грузов железнодорожным транспортом выбран эвристический метод с ошибкой с ошибкой 7,77 % и 13,5 % соответственно. Согласно прогнозу по эвристическому методу в 2020 году прибытие составит 150138 тыс. т. (+12% по отношению к 2015 г.), отправление составит 86582,5 тыс. т. (+28% к 2015 г.). Выполнена оценка привлекательности субъектов СКЭР методом линейных оценочных форм. Получено, что наилучшими показателями экономической привлекательности обладает Краснодарский край с 99,92% привлекательностью, на втором месте Ростовская область с 67,38 % привлекательности, наихудшим регионом с точки зрения экономики стала Республика Калмыкия с привлекательностью всего в 2,65%.

С применением кафедрального научно-методического комплекса «НК–станция» определена экономическая эффективность строительства обхода Краснодарского узла на основе изменения стоимости внутриузловых грузоперевозок: расходы составили до строительства обхода узла - 3795 млн руб./год, после строительства – 2558,6 млн руб./год. Экономия составит 1236,4 млн. руб./год. При рационализации обходов в Ростовском узле по проектным предложениям экономия расходов на пропуск грузовых поездов составляет 11,7 млн. руб./год. Определены капитальные затраты на развитие Крымского (11,5 млрд. руб.) и Тихорецкого (4,1 млрд. руб.) узлов. Срок окупаемости реализуемых проектов составит 7 лет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований получены научно-обоснованные предложения по оценке структур и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов:

1. Исследованы история развития и практический опыт формирования основных железнодорожных узлов РФ. Рассмотрены схемы и классификационные признаки основных железнодорожных узлов СКЖД, обслуживающих 9 субъектов СКЭР и ряда других регионов.

2. Установлено, что схемы большинства узлов относятся к последовательному или комбинированному типу (для крупных узлов) с радиальными или Т-образными примыканиями. Определены проблемные вопросы в организации транспортно-технологических процессов и классификации узлов.

3. Исследован отечественный и зарубежный научный опыт и практические результаты проектирования схем узлов и уровней организации транспортной работы в них. Установлено, что существующая отечественная методология классификации узловых структур, требует развития на основе методов теории принятия решений.

4. Разработаны методы оценки структур и уровней организации узловых транспортно-технологических процессов на основе энтропийного и графоаналитического подходов с применением модифицированных показателей оценки схем узлов и организации транспортного производства. На основе схем узлов получены графы, вероятностные модели и матрицы связей узлов. Определены коэффициенты связанности и достижимости графов узлов. На основе энтропийного подхода исследованы уровни организации узловой железнодорожной инфраструктуры, которые составили от 0,733 (тупиковые припортовые узлы) до 0,992 (узлы комбинированного и сквозного типов).

5. Для характеристики структур узлов предложено использовать коэффициент устойчивости узла – вероятность сохранения связанности и техно-

логичности при внешнем и внутреннем негативном воздействиях. Для исследуемых узлов значения коэффициентов составили от 0,73 до 0,97.

6. Для оценки степени организации узлового транспортного производства сформирована система модифицированных показателей, включающая показатели транспортной производительности, размера транспортного действия, временного размера движения, линейной плотности поездопотока, грузонапряженности, степени использования узловой инфраструктуры, средневзвешенного значения класса узловых станций.

7. Разработана перспективная системная классификация железнодорожных узлов, включающая пять рангов: малые ж.-д. узлы, средние ж.-д. узлы, крупные ж.-д. узлы (2-й тип), крупные ж.-д. узлы (1-й тип), крупнейшие ж.-д. узлы.

8. Сформирована электронная база данных схем основных узлов СКЖД и их показателей с созданием автоматизированного научно-методического комплекса оценки структур железнодорожных узлов.

9. Для выбора направлений развития южнороссийских узлов произведен прогноз объемов региональных перевозок в установлении тенденций изменения показателей прибытия и отправления грузов. По результатам расчетов для прогнозирования объемов прибытия-отправления грузов железнодорожным транспортом выбран эвристический метод с ошибкой 7,77 % по прибытию грузов и 13,5 % по отправлению грузов. Согласно прогнозу по эвристическому методу в 2020 году прибытие составит 150138 тыс. т. (+12% по отношению к 2015 г.), отправление составит 86582,5 тыс. т. (+28% к 2015 г.). Выполнена оценка привлекательности субъектов СКЭР методом линейных оценочных форм. С помощью кафедрального научного комплекса «НК–станция» определена экономическая эффективность строительства обхода Краснодарского узла на основе изменения стоимости внутриузловых грузоперевозок: расходы составили до строительства обхода узла - 3795 млн. руб./год, после строительства – 2558,6 млн. руб./год. Экономия составит 1236,4 млн. руб./год.

В качестве рекомендаций по результатам выполненного исследования следует указать:

1. При разработке проектов развития железнодорожных узлов необходимо учитывать весь спектр методологического инструментария оценки структур и уровней организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов с уточнением классификационных признаков.

2. Для характеристики качества структур узлов (при решении задач по определению рационального количества внутриузловых связей) целесообразно использовать коэффициент устойчивости узла – вероятность сохранения связанности и технологичности при внешнем и внутреннем негативном воздействиях.

3. Методы оценки инфраструктур и показателей транспортной работы требуют комплексного исследования с использованием большого объема данных. Для сети железных дорог Российской Федерации следует сформировать электронную базу данных схем основных узлов и их показателей для создания автоматизированного научно-методического комплекса оценки структур железнодорожных узлов.

4. Разработанный в диссертации метод оценки структур узлов и его модифицированные критерии имеют динамический характер и могут быть адаптированы узлов других видов транспорта.

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертационной работы связаны с развитием методологии оценки узловых структур с учетом изменений в сфере информационно-логистических и транспортных технологий и формированием электронной базы данных схем всех узлов страны и их показателей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акулиничев, В.М. Организация перевозок на промышленном транспорте: учебник / В.М. Акулиничев. – М. : Высшая школа, 1983. – 230 с.
2. Акулиничев, В.М. Математические методы в эксплуатации железных дорог: учебн. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В.М. Акулиничев, В.А. Кудрявцев, А.П. Корешков. – М.: Транспорт, 1981. – 223 с.
3. Апатцев, В.И. Оптимизация транспортного производства в железнодорожных узлах / В.И. Апатцев. – М. : РГОТУПС, 2000. – 244 с.
4. Апатцев, В.И. Методология организации транспортного производства и управления объектами железнодорожных узлов: автореф. дис. д-ра техн. наук – М., 2000. – 47 с.
5. Астафьев, В.М. Основы автоматизированного проектирования схем путевого развития промышленных узлов: учебн. пособие / В.М. Астафьев. – Ростов н/Д: РИСИ, 1987. – 81 с.
6. Балалаев, А.С. Методология транспортно-логистического взаимодействия при мультимодальных перевозках: автореф. дис. док-ра техн. наук – Хабаровск, 2010 – 48 с.
7. Балч, В.И. Регулирование грузовых перевозок на железных дорогах / В.И. Балч, И.Г. Казовский, В.А. Кудрявцев, В.Ф. Гречанюк; под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: Транспорт, 1984. – 248 с.
8. Балух, Х. Модульное автоматизированное проектирование путевого развития станций / Х. Балух (H.Baluch) // CAD in modular designing of track layout in railway stations. Журнал «Железные дороги мира». – 1989. – № 7. – С. 70–74.
9. Белов, Д.К. Принципы совершенствования промышленных узлов и транспорта районов угледобывающих промышленности: автореф. дис. канд. техн. наук / Д.К. Белов. – Ростов н/Д: РИСИ, 1970. – 25 с.

10. Белов, И.В. Моделирование экономических процессов на железнодорожном транспорте / под ред. Белова И.В., Макаровича А.М. – М.: Транспорт. 1977. – 246 с.

11. Бродяцкий, Г.Л. Системный анализ в логистике: выбор в условиях неопределенности: учебник / Г.Л. Бродяцкий – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с.

12. Бройтман, Э.З. Железнодорожные станции и узлы. Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2004. – 372 с.

13. Ватулин, В.А. Теория вероятностей и математическая статистика в задачах: учебн. пособие для вузов / В.А. Ватулин, Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев – М.: Дрофа, 2003. – 328 с.

14. Верцман, Г.З. Проектирование железнодорожных станций и узлов: справочное и методическое руководство / Г.З. Верцман, П.И. Пантелеев - М.: Трансжелдориздат, 1963. – 443 с.

15. Вишневецкий, Д.Г. Применение методов теории массового обслуживания для оптимизации работы сортировочных станций / Д.Г. Вишневецкий // Сб. работ лауреатов конкурса молодых ученых 1997 г. – Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 1998. – С. 73–84.

16. Гагарина, Л.Г. Взаимодействие транспорта и региональных структур (экономико-географический аспект): учебное пособие по экономической географии для студентов экономических специальностей вузов железнодорожного профиля / Л.Г. Гагарина, Н.О. Михаленок. – М.: Маршрут, 2007. – 184 с.

17. Гладких, О.Б. Основные понятия теории графов: учебное пособие для вузов / О.Б. Гладких, О.Н. Белых – Елец : ЕГУ им И.А. Бунина, 2008. – 175 с.

18. Головнич, А.К. Научные основы формирования интегрированной системы автоматизированного проектирования железнодорожных станций: автореф. дис. д-ра техн. наук – Гомель: БелГУТ, 2004. – 42 с.

19. Гончаров, Д.В. Техничко-технологические параметры местной работы станций в условиях выноса сортировочной и грузовой работы за пределы железнодорожных узлов: автореф. дис. к-та техн. наук – М., 2012. – 24 с.
20. Грау, Б. Проектирование железнодорожных станций: сокращенный пер. с нем. В.И. Шейко – М.: Транспорт, 1978. – 487 с.
21. Грешилов, А.А. Математические методы построения прогнозов / А. А. Грешилов, В. А. Стакун, А. А. Стакун – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
22. Грунтов, П.С. Эксплуатационная надежность станций / П.С. Грунтов. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
23. Еловой, И.А. Эффективность логистических транспортно-технологических систем (теория и методы расчета): монография / И.А. Еловой. – Гомель: БелГУТ, 2000. – 290 с.
24. Ефименко, Ю.И. Исходные положения теории оптимизации этапности развития станций и узлов / Ю.И. Ефименко, П.К. Рыбин, Л.А. Олейникова // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом. СПб. : ПГУПС, 2009. – С. 54–66.
25. Ефименко, Ю.И. Железнодорожные станции и узлы: учеб. пособие для учреждений сред. проф. образования / Ю.И. Ефименко, С.И. Логинов, В.С. Суходоев – М.: Академия, 2006. – 336 с.
26. Ефименко, Ю.И. Краткий исторический обзор теоретических работ по вопросам этапности развития станций и узлов (1851-1960 гг.) / Ю.И. Ефименко, Л.А. Олейникова // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом. СПб.: ПГУПС, 2006. – С. 3–16.
27. Ефименко, Ю.И. Краткий исторический обзор теоретических работ по вопросам этапности развития станций и узлов (1961–2006 гг.) / Ю.И. Ефименко, Л.А. Олейникова // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом. СПб.: ПГУПС, 2007. – С. 3–18.
28. Ефименко, Ю.И. Обоснование рациональной этапности развития железнодорожных станций и узлов при наличии ограничений / Ю.И.

Ефименко, П.К. Рыбин, М.В. Четчуев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2013. – №4 (37). – С. 25–30.

29. Ефименко, Ю.И. Обоснование этапности развития железнодорожных станций и узлов: автореф. дис. док-ра техн. наук – СПб., 1992. – 50 с.

30. Ефименко, Ю.И. Оптимизация этапности развития станций и узлов при случайных колебаниях прогнозных объемов работы / Ю.И. Ефименко, Л.А. Олейникова, Н.В. Тулякова // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом. СПб.: ПГУПС – 2004. – С. 41–48.

31. Ефименко, Ю.И. Особенности обоснования развязок маршрутов в железнодорожных узлах в современных условиях / Ю.И. Ефименко, А.Г. Филиппов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2014. – №4 (41). – С. 33–39.

32. Ефименко, Ю.И. Особенности разработки вариантов технического состояния железнодорожных станций и узлов и обоснование этапности их развития / Ю.И. Ефименко, П.К. Рыбин, А.В. Сугоровский, М.В. Четчуев // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом. СПб.: ПГУПС – 2015. – С. 25–34.

33. Жардемов, Б.Б. Теоретические основы развития железнодорожных станций и узлов: автореф. дис. д-ра техн. наук – М., 1999. – 48 с.

34. Железнодорожные станции и узлы: учебник для вузов ж.-д. транспорта / В.Г. Шубко, Н.В. Правдин, Е.В. Архангельский, В.Я. Болотный, В.А. Бураков, С.П. Вакуленко, В.А. Персианов; под ред. В.Г. Шубко и Н.В. Правдина. – М.: УМК МПС России, 2002. – 368 с.

35. Железнодорожные узлы: схемные решения, транспортная работа и их оценка : монография // О.Н. Числов, В.В. Хан, В.М. Задорожний, Н.М. Магомедова; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2016. – 229 с. – ISBN 978-5-88814-461-9.

36. Железнодорожные станции и узлы промышленных районов: учебник для вузов железнодорожного транспорта / Н.Н. Числов, В.Н.

Дегтяренко, Е.Г. Лазарев, В.М. Астафьев, О.Н. Числов; под ред. Н.Н. Числова. – Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2004. – 568 с.

37. Желтиков, В.П. Экономическая география: учеб. пособие для вузов / В.П. Желтиков. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 384 с.

38. Зюмер, М. Алгоритм выбора места расположения проектируемых станций / М. Зюмер (*M.Sumer*) // *An algorithm for determining convenient location of projected station points with probability theory* // Журнал «Железные дороги мира». – 1990. – № 4. – С. 47–50.

39. Иванов-Толмачев, И.А. Развитие железнодорожных узлов: учебное пособие для студентов специальности 190701. / И.А. Иванов-Толмачев, А.А. Сидраков, Д.В. Гончаров – М.: МИИТ, 2011. – 66 с.

40. Инновационный дайджест. Все самое интересное о железной дороге [электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.rzd-expo.ru> (дата обращения 11.09.2016).

41. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. М., 2010 – 180 с.

42. Интрилигатор, М. Математические методы оптимизации и экономическая теория: пер. с англ. Г.И. Жуковой, Ф.Я. Кельмана / М. Интрилигатор. – М.: Айрис-пресс, 2002. – 576 с.

43. История Северо-Кавказской железной дороги [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://scbist.com/severo-kavkazskaya-zheleznaya-doroga/2790-istoriya-razvitiya-skzhd-1864-2008g.html> (дата обращения 11.09.2016)

44. История развития железнодорожного транспорта России. Т. 1: 1836–1917 гг. – СПб., 1994. – 336 с.

45. История развития железнодорожного транспорта России и Советского союза. Т. 2: 1917–1945 гг. – СПб., 1997. – 416 с.

46. Казовский, И.Г. Рационализация перевозок грузов на железных дорогах / И.Г. Казовский. – М.: Транспорт, 1977. – 280 с.

47. Кистанов, В.В. Региональная экономика России: учебник / В.В. Кистанов, Н.В. Копылов – М: Финансы и статистика, 2004. – 584 с.

48. Козлов, П.А. Имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры / П.А. Козлов, А.С. Мишарин // Железнодорожный транспорт – М. : Российские железные дороги – 2014. – №4 – С. 52-54.

49. Козлов, П.А. Макромоделирование транспортных узлов / П.А. Козлов, Н.А. Тушин, В.Ю. Пермикин, И.Г. Слободянюк // Железнодорожный транспорт – М. : Российские железные дороги – 2015. – №10 – С. 38-40.

50. Козлов, П.А. Метод оптимизации структуры транспортной системы / П.А. Козлов, И.П. Владимирская // Мир транспорта. – 2009. – № 2 (26). – С. 84-87.

51. Козлов, П.А. Метод динамического согласования производства и транспорта: Сб. тр. ИКТП. / П.А. Козлов, С.П. Миловидов // – Выпуск 105. – М. : – 1985. – С. 156-163.

52. Козлов, П.А. Оценка схемных и технологических решений в проектах развития железнодорожных станции и узлов / П.А. Козлов, И.М. Яриков // Железнодорожный транспорт – М. : Российские железные дороги – 2010. – №12 – С. 57-58.

53. Козлов, П.А. Системные исследования - новый подход // Наука и техника транспорта. М.: МГУПС – 2014. – № 1. – С. 46-50.

54. Козлов, П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии): дис. д-ра техн. наук / Козлов П.А. – М., 1988. – 350 с.

55. Корацца, Г. Методология проектирования путевого развития станций / G. Corazza, A. Musso // Methodology for station track layout design. // Журнал «Железные дороги мира». – 1991. – № 4. – С. 46–52.

56. Корнилов, С.Н. Основы логистики: учеб. пособие. / С.Н. Корнилов, Рахмангулов А.Н., Шаульский Б.Ф. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 302 с.

57. Коршунов, Ю.М. Математические основы кибернетики: учебн. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 496 с.
58. Кочетков, Е.С. Теория вероятностей в задачах и упражнениях: учеб. пособие / Е.С. Кочетков, С.О. Смерчинская. – М.: Форум: Инфра – М, 2005. – 480 с.
59. Куклев, Д.Н. Обоснование целесообразности сооружения обходов железнодорожных узлов: автореф. дис. кан-та техн. наук – М., 2007. – 24 с.
60. Леонов, А.А. Организация рационального распределения грузопотоков в железнодорожном транспортном узле: автореф. дис. к-та техн. наук – М., 2002. – 24 с.
61. Мамаев, Э.А. Моделирование региональных транспортных систем в условиях конкуренции: автореф. дис. д-ра техн. наук / Э.А. Мамаев. – М., 2006. – 48 с.
62. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. – М.: Информэлектро, 1994. – 60 с.
63. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200005634>, (дата обращения 12.09.2016).
64. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте / ВНИИЖТ МПС. – Транспорт, 1991. – 239 с.
65. Минакова, Э.С. Оптимизация обслуживания грузовладельцев в крупных железнодорожных узлах с использованием логистических принципов: дис. кан-та техн. наук – М., 2012. – 176 с.
66. Морозова, Т.Г. Региональная экономика: учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям: – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. — 527 с.

67. Мюллер, У. (W. Muller). Устройства железной дороги и динамика движения. Eisenbahnanlagen u. Fahrdynamik. V-1-2. Springer-Verlag, Berlin, 1960 // Железные дороги мира. – 1991. – № 4. – С. 46–52.

68. Носов, В.А. Комбинаторика и теория графов: учебное пособие для вузов - М. : Мир, 1989. – 112 с.

69. Орешкин, В.Л. О разработке нормативно-правовой базы для промышленного транспорта / В.Л. Орешкин // Труды научно-технической конференции «Модернизация промышленного транспорта», февраль 2003 г. Тезисы докладов. – М.: Промтрансстрой, 2003. – С. 20–23.

70. Орлова, Н.В. Экономико-математическое моделирование: практическое пособие по решению задач: учебник для вузов / Н.В. Орлова. – М., 2004. – 144 с.

71. Осьминин, А.Т. Рациональная организация вагонопотоков на основе методов многокритериальной оптимизации: автореф. дис. д-ра техн. наук / А.Т. Осьминин. – Самара, 2000. – 48 с.

72. Падня, В.А. Применение теории массового обслуживания на транспорте (железнодорожном, автомобильном, водном и воздушном) / В.А. Падня. – М. : Транспорт, 1968. – 207 с.

73. Паспорт «Актуализация генеральной схемы развития Московского железнодорожного узла» – М. : ОАО «РЖД», 2014 – 110 с.

74. Персианов, В.А. Системный подход и его применение в экономических исследованиях на транспорте / В.А. Персианов, Т.Н. Сакулева. – Вестник университета (Государственный университет управления). – М. : ГУУ, 2014 – №9 – С. 2-3.

75. Персианов, В.А. Системотехнический расчет пропускной способности станций и узлов методом моделирования / В.А. Персианов, Н.С. Усков, И.Е. Ежикова // Ин-т комплексных трансп. Проблем при Госплане СССР – М.: 1967. – 47 с.

76. Персианов, В.А. Сущность системного подхода и его применение на транспорте / В.А. Персианов, Т.Н. Сакульева. – Вестник транспорта – М. : ГУУ, 2014 – №12 – С. 64-66.

77. Попов, А.М. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для бакалавров / А. М. Попов, В. Н. Сотников ; под ред. проф. А. М. Попова. – М. : Издательство Юрайт, 2011. – 440 с.

78. Поттхофф, Г. Учение о транспортных потоках. пер. с нем. – М. : «Транспорт», 1975. – 344 с.

79. Поттхофф, Г. Теория массового обслуживания: пер. с нем. / Г. Поттхофф; под ред. Е.П. Нестерова. – М. : Транспорт, 1979. – 144 с.

80. Правдин, Н.В. Основы автоматизации проектирования железнодорожных станций : монография / Н.В. Правдин, А.К. Головнич, С.П. Вакуленко; под общ. ред. Н.В. Правдина. – М. : Маршрут, 2004. – 400 с.

81. Правдин, Н.В. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах / Н.В. Правдин, В.Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1983. – 296 с.

82. Правдин, Н.В. Взаимодействие различных видов транспорта: (примеры и расчеты) / Н.В. Правдин, В.Я. Негрей, В.А. Подкопаев; под ред. Н.В. Правдина. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.

83. Правила и технические нормы проектирования станции и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм – М.: Техинформ, 2001. – 256 с.

84. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1 520 мм. – М.: МПС РФ, 2003. – 163 с.

85. Проектирование грузовых станций: учебное пособие / О.Н. Числов, Д.С. Безусов, В.М. Задорожний, В.В. Хан; ФГБОУ ВПО РГУПС. – Изд. второе, перераб. и доп. – Ростов н/Д, 2014. – 68 с.

86. Размещение железнодорожных станций в узлах: учеб. пособие / О.Н. Числов, Н.Н. Числов, Е.А. Арсланов, Д.В. Игнатова – Ростов н/Д: РГУПС, 2010. – 78 с.

87. Рахмангулов, А.Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования: монография / А.Н. Рахмангулов,

О.А. Копылова, П.Н. Мишкурин // Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2014. – 300 с.

88. Рахмангулов, А.Н. Методологические основы организации функционирования железнодорожных промышленных транспортно-технологических систем: дис. докт. техн. наук – М., 2013 – 373 с.

89. Рахмангулов, А.Н. Повышение эффективности функционирования железнодорожных транспортно-технологических систем / А.Н. Рахмангулов, О.А. Копылова // Корпоративная экономика. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – Магнитогорск – 2015. – №2 (2) – С. 4-12.

90. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2015 : стат. сб. // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – М., 2015. – 672 с.

91. Романов, В.В. Обоснование размещения и числа пассажирских технических станций в крупных железнодорожных узлах: автореф. дис. к-та техн. наук – СПб., 2008. – 24 с.

92. Савченко, И.Е. Железнодорожные станции и узлы / И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, И.И. Страковский – М.: Транспорт, 1980. – 479 с.

93. Самоучитель *AutoCAD 2013* / Н.Н. Полещук – БХВ-Петербург, 2013. – 464 с.

94. Серебряков, Н.В. Материалы по истории Северо-Кавказской железной дороги. – Ростов-на-Дону, 1957.

95. Сидоренко, В.Т. Путешествие в историю Северо-Кавказской железной дороги. 1860-1920. – Ростов-на-Дону, 2007. – 324 с.

96. Сизый, С.В. Теория и методология формирования сетевого организационного взаимодействия на железнодорожном транспорте: автореф. дис. докт. техн. наук – Екатеринбург, 2011. – 44 с.

97. Скалов, К.Ю. Транспортные узлы – М.: Транспорт, 1966. – 503 с.

98. Сологуб, Н.К. Метод сравнения схем станций / Н.К. Сологуб, Б.Б. Жардемков // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 9. – С. 20–27.

99. Сологуб, Н.К. Автоматизированное проектирование железнодорожных станций : учеб. пособие / Н.К. Сологуб, А.Т. Осьминин. – Куйбышев: КИИТ, 1990. – 84 с.

100. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года.

101. Строительные нормы и правила, СНиПы. Нормативно-техническая документация [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://snipov.net> (дата обращения 12.09.2016).

102. Схема Северо-Кавказской железной дороги [Электронный ресурс] // ОАО «Российские железные дороги» – Режим доступа: [http://rzd.ru/ent/public/ru?STRUCTURE\\_ID=5185&layer\\_id=5554&refererLayerId=5553&id=952#294](http://rzd.ru/ent/public/ru?STRUCTURE_ID=5185&layer_id=5554&refererLayerId=5553&id=952#294) (дата обращения 08.09.2016).

103. Транспорт и связь в России: стат. сб. [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – Режим доступа : [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/3e4fc4004e3423529616fe18bf0023dd](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/3e4fc4004e3423529616fe18bf0023dd) (дата обращения 18.09.2016).

104. Транспорт России : Всероссийская транспортная еженедельная информационно-аналитическая газета [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://www.transportrussia.ru> (дата обращения 20.09.2016).

105. Тимербаева, Н.В. Статистика. Раздел общая теория статистики. – Казань : РГТЭУ КИ, 2008. – 53 с.

106. Усков, Н.С. Организация управления территориальными производственно-транспортными комплексами: учебник для вузов. – М.: ГУУ, 1999. – 320 с.

107. Филиппов, М.М. Железные дороги: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1992. – 295 с.

108. Хан, В.В. Графоаналитическая оценка схем и транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов / В.В. Хан // Вестник

Ростовского государственного университета путей сообщения. Ростов-на-Дону: РГУПС – 2015 – №4 (60). – С. 84–91.

109. Хан, В.В. Интегральная оценка показателей транспортной инфраструктуры железнодорожных узлов / В.В. Хан // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Современные аспекты транспортной логистики», посвященной 70-летию кафедры «Технология транспортных процессов и логистика». Хабаровск : ДВГУПС. – 2014. – С. 92–97.

110. Хан, В.В. Критерии оценки транспортной работы железнодорожных узлов / В.В. Хан // Сборник научных трудов международной конференции «Наука и современность: вызовы XXI века» - Часть II : Технические и исторические науки. Киев : Центр научных публикаций. – 2014. – С. 128–132.

111. Хан, В.В. Методы исследования транспортно-технологических структур основных железнодорожных узлов Северо-Кавказской железной дороги / В.В. Хан // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2013» - Часть 1 : Технические и экономические науки. Ростов-на-Дону : РГУПС. – 2013. – С. 238–240.

112. Хан, В.В. Методы исследования этапности развития железнодорожных узлов (на примере Северо-Кавказского экономического региона) / В.В. Хан // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. Ростов-на-Дону : РГУПС. – 2014. – №2 (27). – С. 126–135.

113. Хан, В.В. Оценка экономической привлекательности железнодорожного транспорта субъектов Российской Федерации (на примере Южного федерального округа) / В.В. Хан // Actualscience – Том 1, №3 (3). Пенза : Научно-издательский центр «Актуальность.РФ». – 2015. – С. 73–74.

114. Хан, В.В. Разработка комплексного критерия оценки структурных схем железнодорожных узлов / В.В. Хан // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2014» – Часть 1 : Технические и экономические науки. Ростов-на-Дону : РГУПС. – 2014. – С. 336–338.

115. Хан, В.В. Разработка программного научного комплекса оценки схем железнодорожных узлов / В.В. Хан // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2015» – Часть 1 : Экономические и технические науки. Ростов-на-Дону : РГУПС. – 2015. – С. 35–37.

116. Хан, В.В. Формирование методов исследования инфраструктуры железнодорожных узлов / В.В. Хан // Международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах»: сборник трудов / под общей ред. П.К. Рыбина. – СПб. : ПГУПС – 2016. – С. 244–256.

117. Харари, Фрэнк. Теория графов: пер. с англ. В.П. Козырева; под ред. Г.П. Гаврилова / Ф. Харари.– 2-е изд. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 296 с.

118. Чернобельский, А.Б. Оценка уровня организации производственно-транспортных систем / А.Б. Чернобельский, В.Н. Дегтяренко // Сб. науч. Тр. РИСИ, №6. 1979. – С. 11-15.

119. Чернов, В.Н. Автоматизация расчетов и масштабного проектирования железнодорожных станций. Раздел № 21: научно-исследовательская работа / В.Н. Чернов, Н.Н. Числов, О.Н. Числов. – Ростов н/Д: РГУПС, 2002. – 74 с.

120. Числов, Н.Н. Метод проектирования транспортно-складских комплексов / Н.Н. Числов, Л.И. Леонтьева, О.Н. Числов // Железнодорожный транспорт. – 1995. – № 8. – С. 14–17.

121. Числов, Н.Н. Железнодорожные станции и узлы промышленных районов: учебник для вузов железнодорожного транспорта / Н.Н. Числов, В.Н. Дегтяренко, Е.Г. Лазарев, В.М. Астафьев, О.Н. Числов; под ред. Н.Н. Числова. – Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2004. – 568 с.

122. Числов, Н.Н. Методические указания к курсовому проектированию железнодорожных узлов. Ч 1. Расчет путевого развития и выбор типа сортировочной станции / Н.Н. Числов, В.А. Лебедева – Ростов н/Д: РИИЖТ, 1990. – 30 с.

123. Числов, Н.Н. Методические указания к курсовому проектированию железнодорожных узлов. Ч 2. Схемы железнодорожных узлов и путепроводных развязок / Н.Н. Числов, В.А. Лебедева – Ростов н/Д: РИИЖТ, 1990. – 28 с.

124. 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.

125. Числов, О.Н. Метод оценки уровня организации и пропускной способности инфраструктуры железнодорожных узлов / О.Н. Числов, В.В. Хан // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС. – 2013. – №4 (37). – С. 68–78.

126. Числов, О.Н. Научно-методический комплекс классификации железнодорожных узлов (на примере Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД») [Электронный ресурс] / О.Н. Числов, В.В. Хан // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6. (дата публикации 19.01.2015) – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/120-16956> (дата обращения 15.09.2016).

127. Числов, О.Н. Оптимизация размещения и проектирования транспортно-технологических систем железных дорог: монография // О.Н. Числов; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2006. – 323 с.

128. Числов, О.Н. Проектирование транспортно-складских комплексов грузовых станций с применением ЭВМ: учеб. пособие / О.Н. Числов. – Ростов н/Д: РГУПС, 2000. – 110 с.

129. Числов, О.Н. Разработка программного научно-методического комплекса оценки инфраструктуры и классификации железнодорожных узлов / О.Н. Числов, В.В. Хан // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. Ростов-на-Дону: РГУПС. – 2015. – №4 (33). – С. 143–151.

130. Числов, О.Н. Формирование научно-методического комплекса классификации железнодорожных узлов / О.Н. Числов, В.В. Хан // Труды международной научно-практической конференции «Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса Юга России», посвященной 85-летию РГУПС. - Часть 3 : Гуманитарные, экономические и юридические науки. Ростов-на-Дону : РГУПС. – 2015. – С. 77–79.

131. Шабалин, Н.Н. Применение теории массового обслуживания для расчета устройств станции. – М. : МИИТ, 1968. – 87 с.

132. Шварц, Г. Выборочный метод. Руководство по применению статистических методов оценивания. пер. с нем. – М. : Статистика, 1978. – 210 с.

133. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова. – М. : Иностран. Лит., 1963. – 832 с.

134. Шубко, В.Г. Перспективы развития крупных железнодорожных узлов / В.Г. Шубко. – М., 2009. – 96 с.

135. Экономика железнодорожного транспорта: учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Н.П. Терёшина, В.Г. Галабурда, В.А. Токарев и др. // Н.П. Терёшиной, Б.М. Лapidуса – М.: УМЦ ЖДТ, 2008. – 996 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Схемы железнодорожных узлов

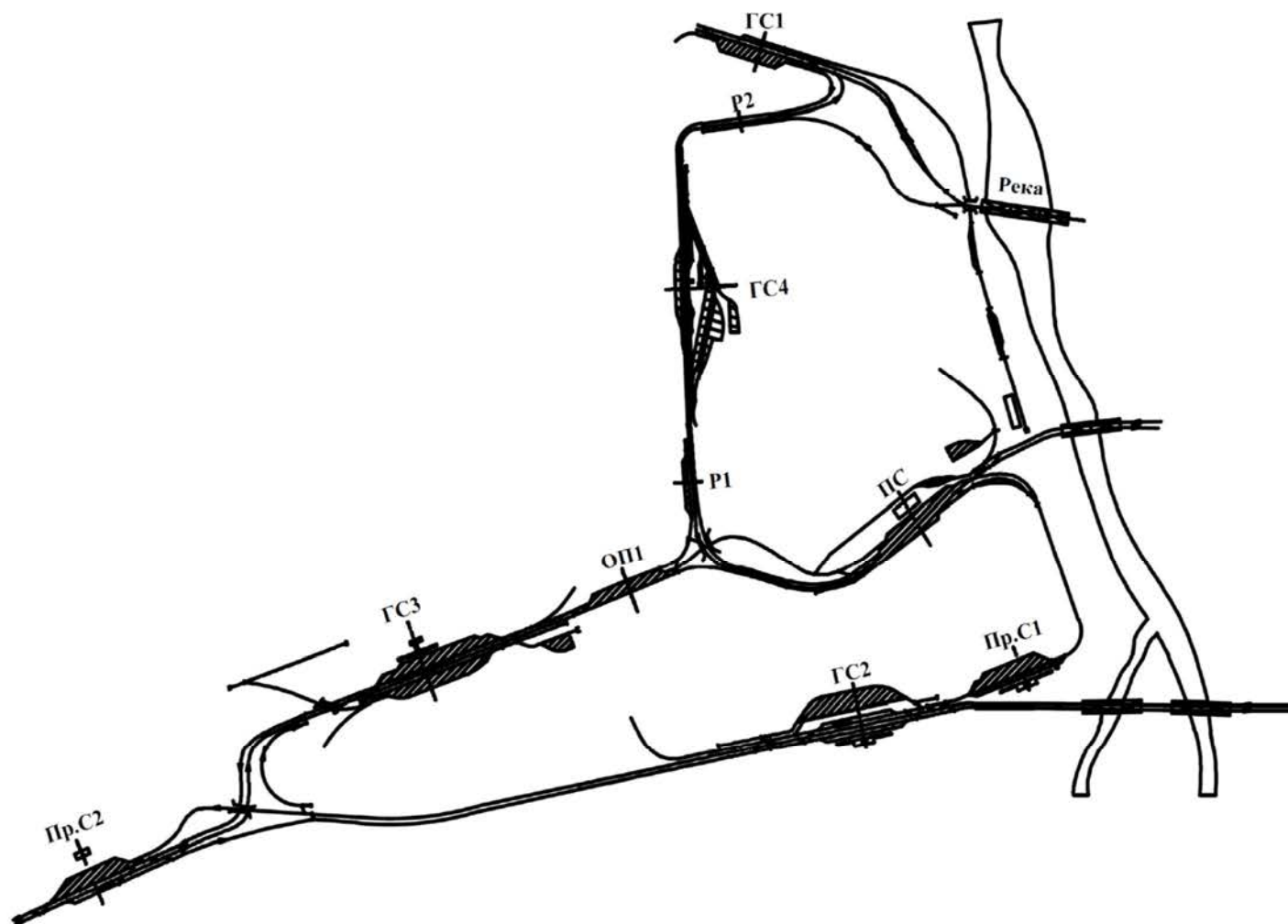


Рисунок П1.1 – Схема железнодорожного узла «Р»

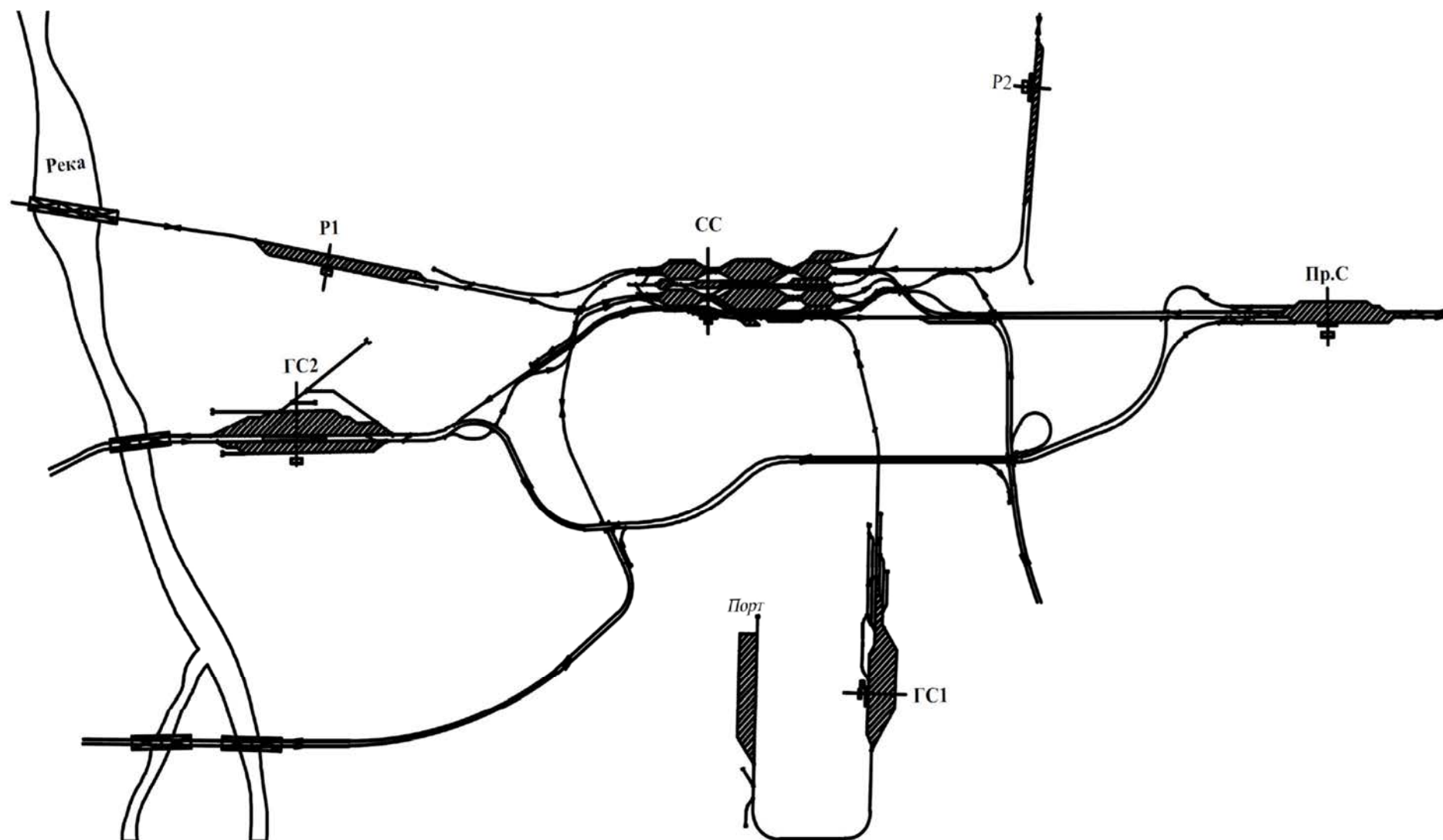


Рисунок П1.2 – Схема железнодорожного узла «Б»

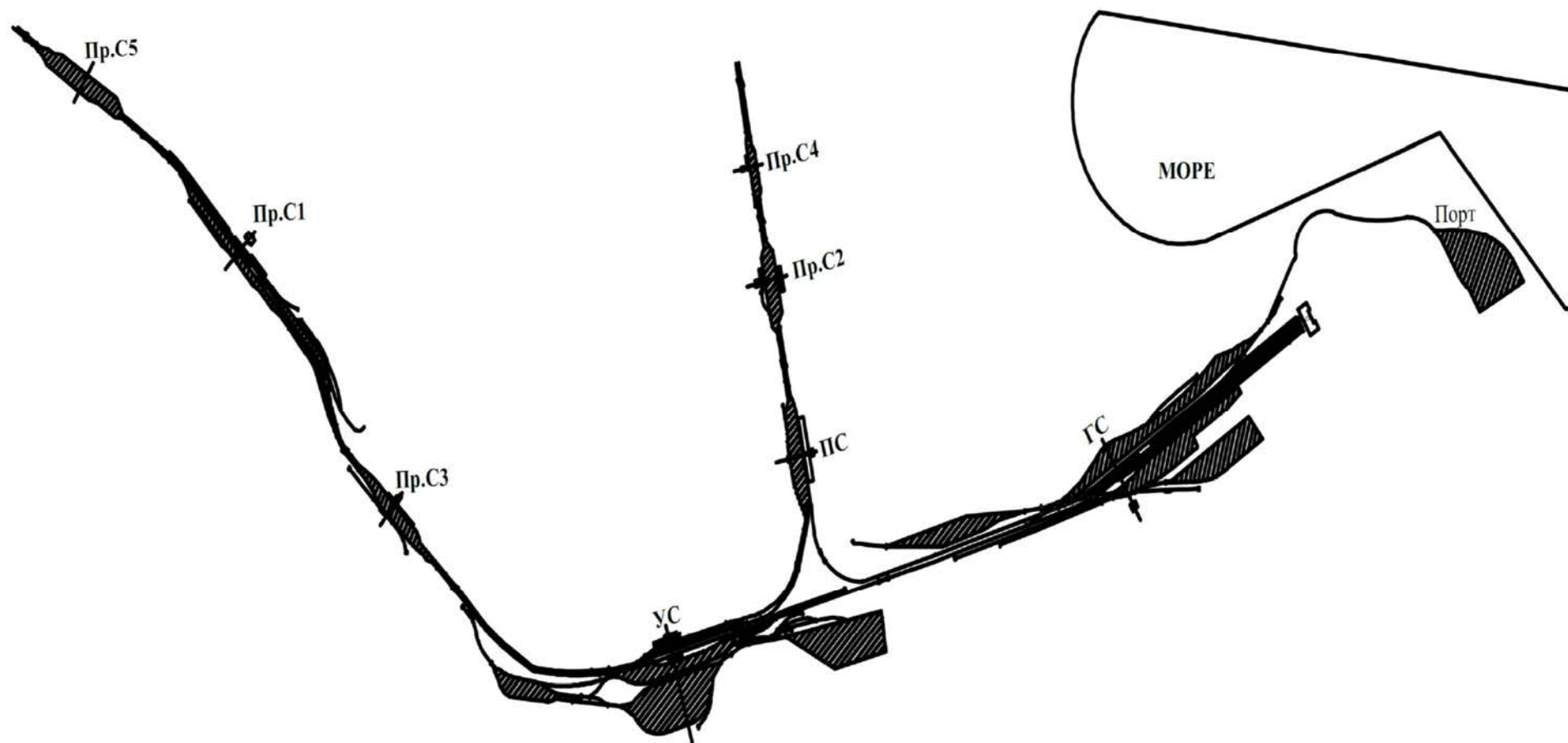


Рисунок П1.3 – Схема железнодорожного узла «Т»

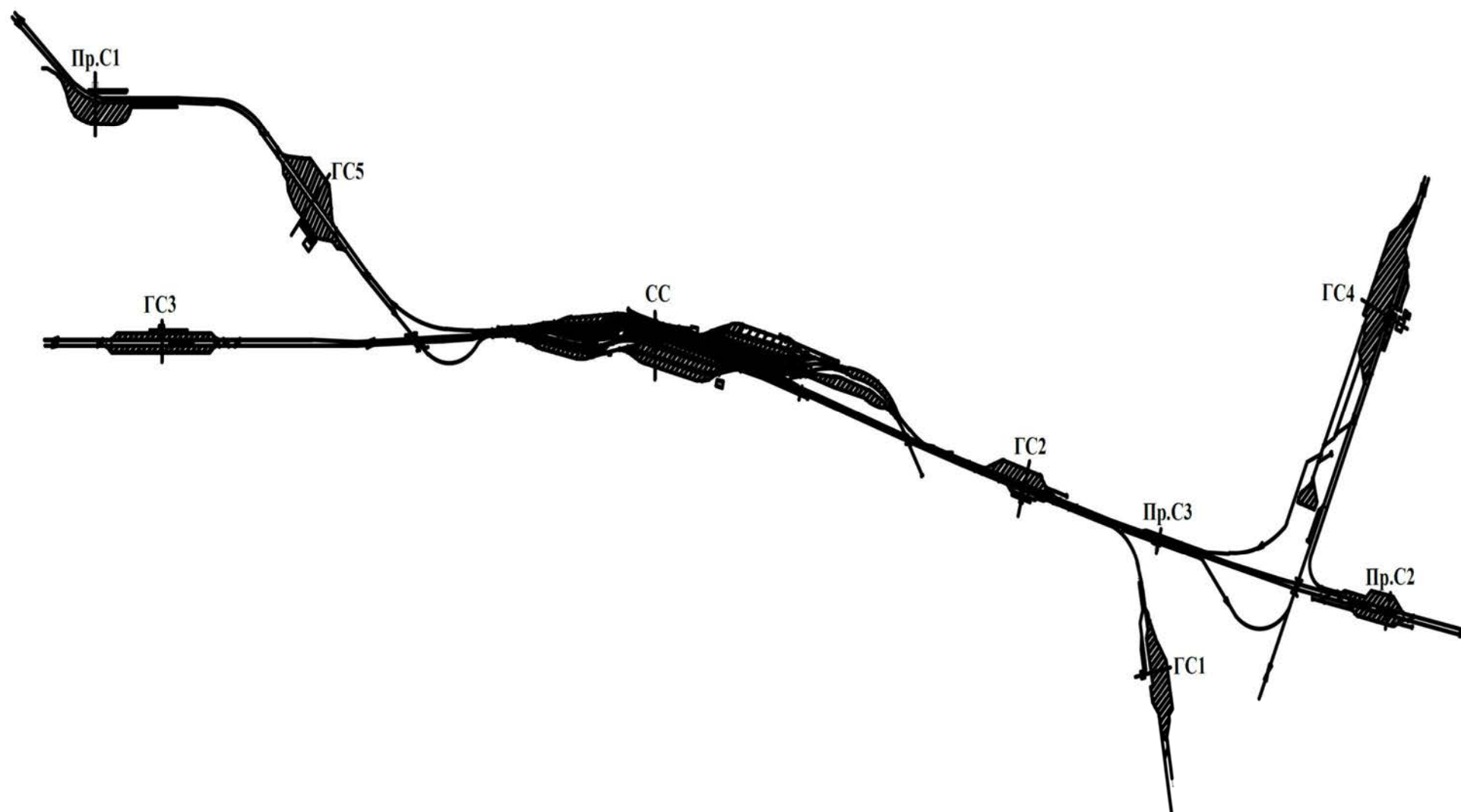


Рисунок П1.4 – Схема железнодорожного узла «Л»

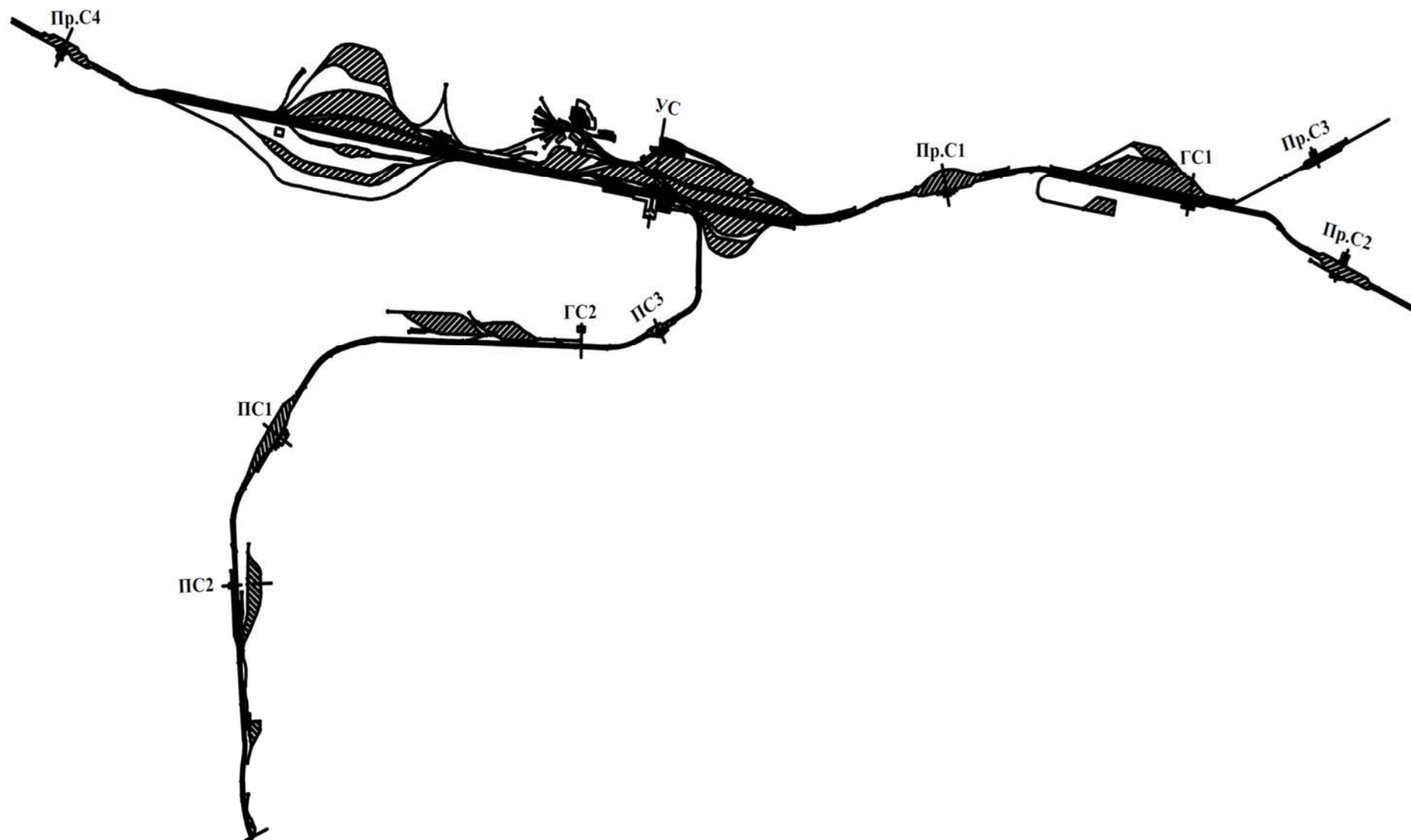


Рисунок П1.5 – Схема железнодорожного узла «М»

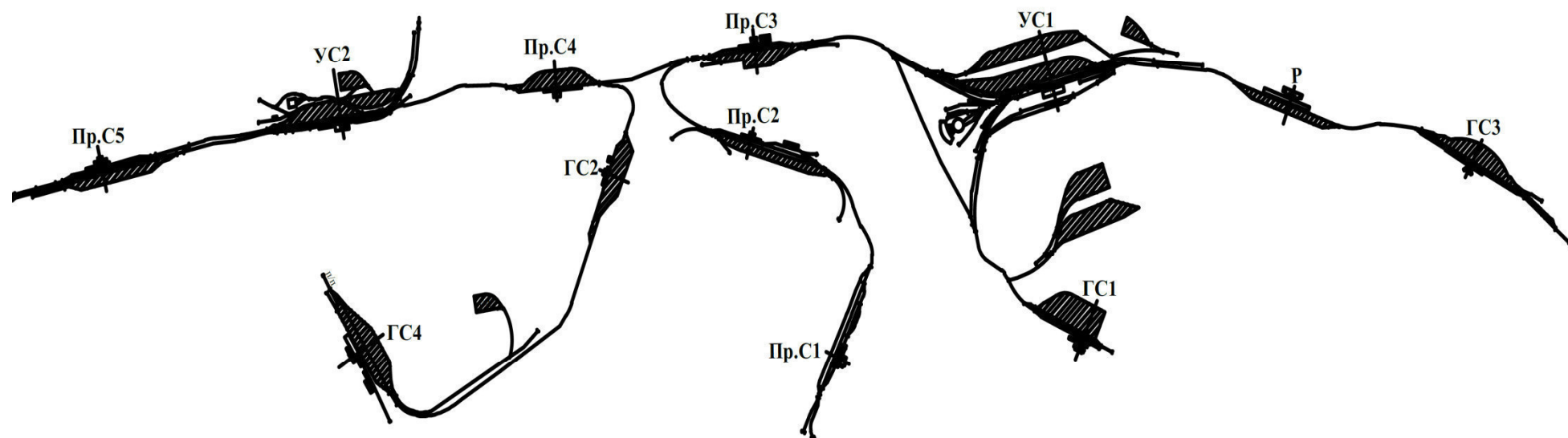


Рисунок П1.6 – Схема железнодорожного узла «П»



Рисунок П1.7 – Схема железнодорожного узла «Г»

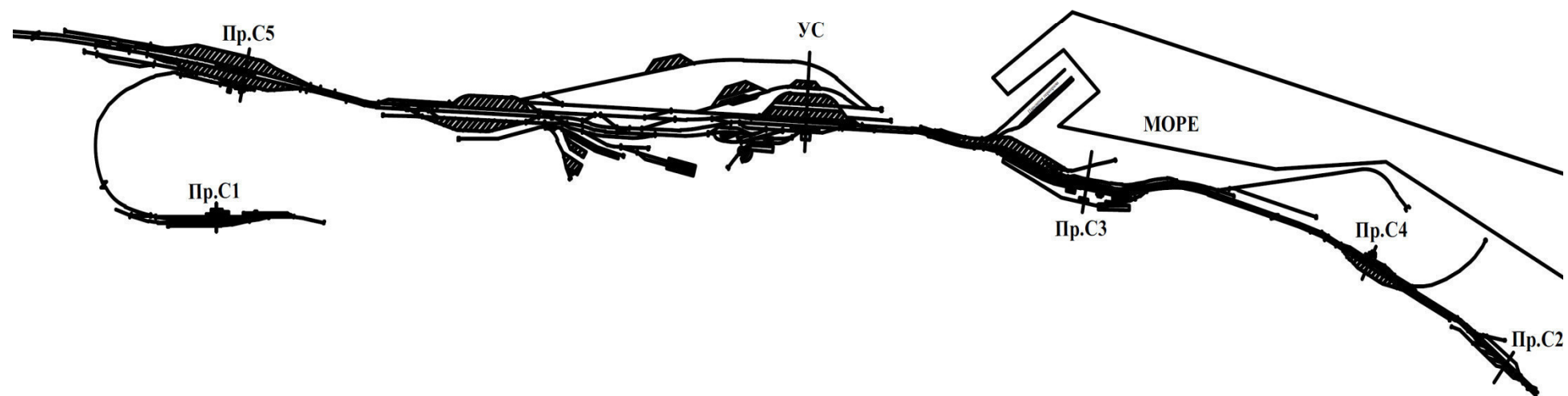


Рисунок П1.8 – Схема железнодорожного узла «Ч»

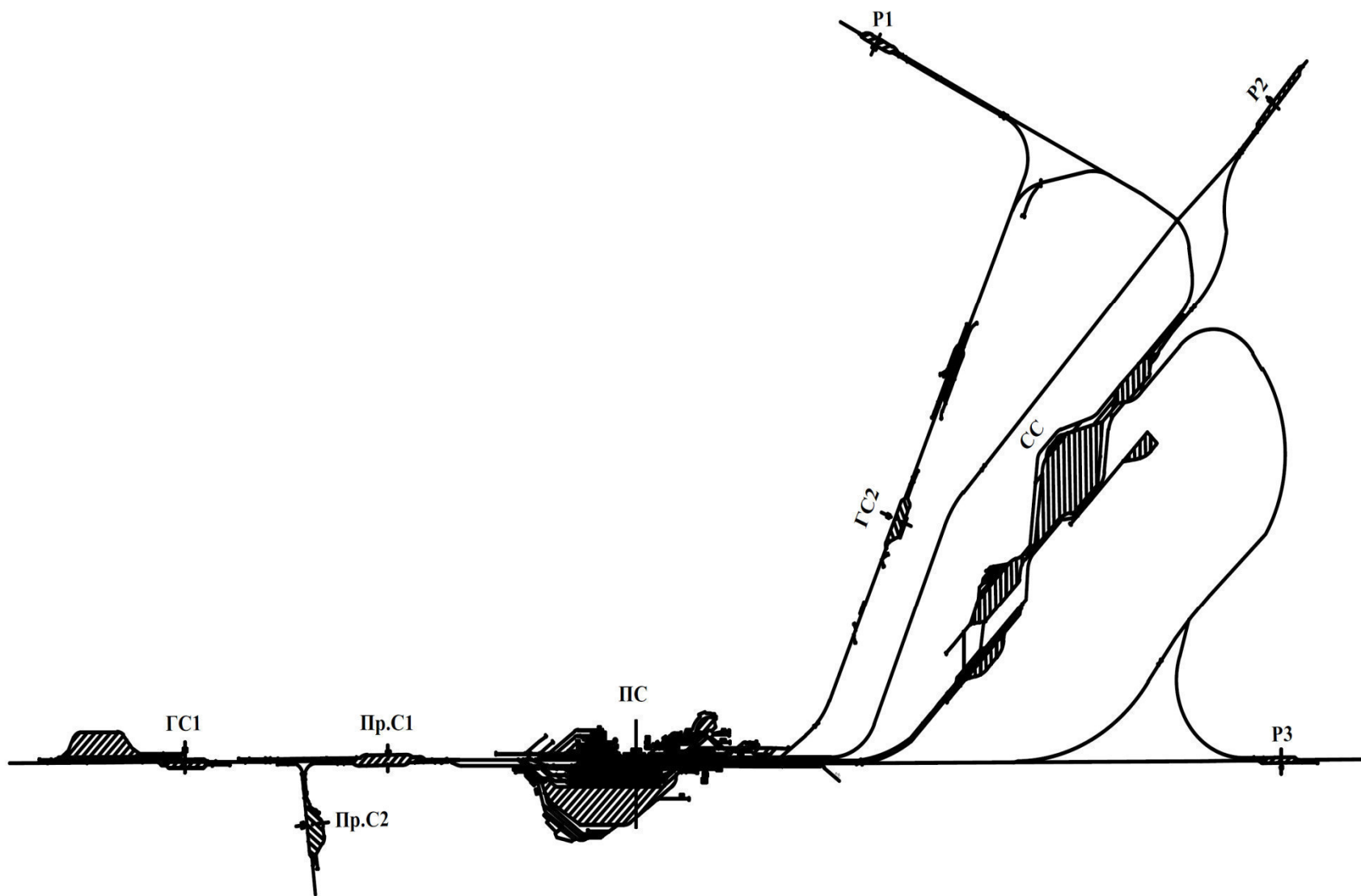


Рисунок П1.9 – Схема железнодорожного узла «К»

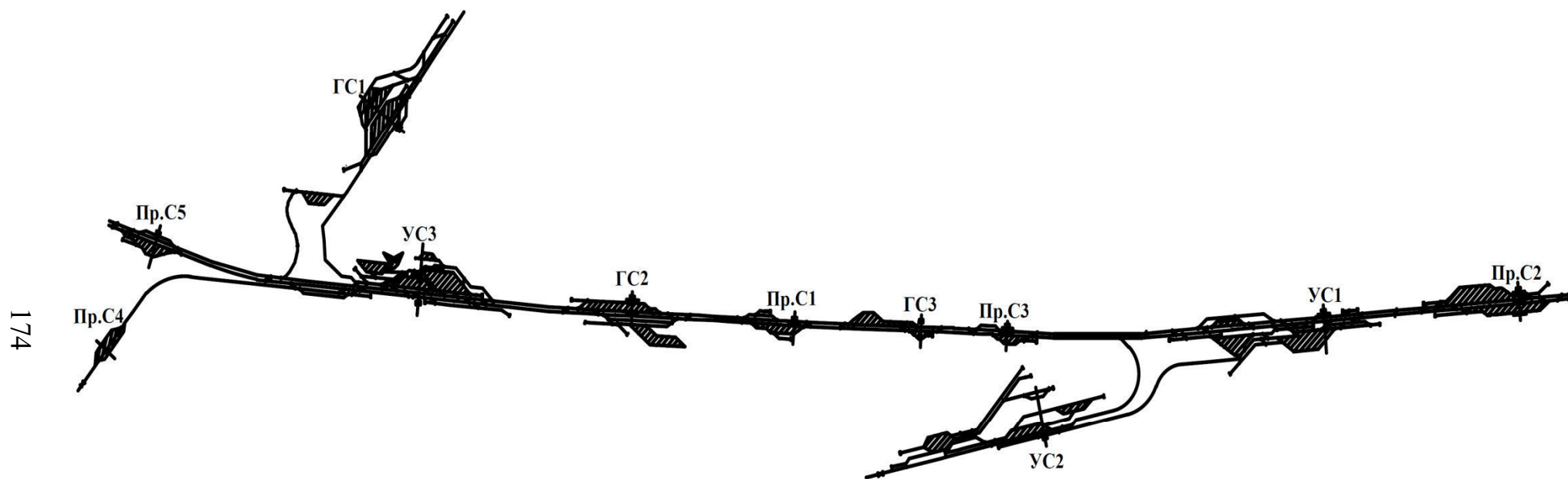


Рисунок П1.10 – Схема железнодорожного узла «3»

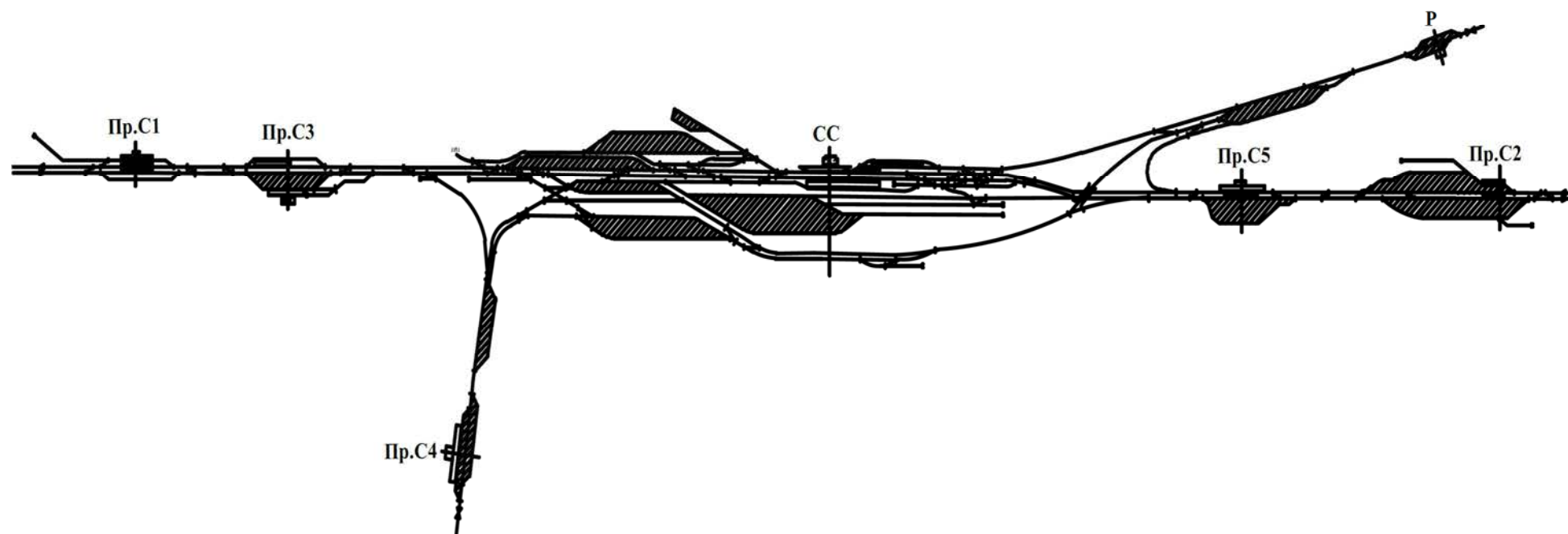


Рисунок П1.11 – Схема железнодорожного узла «Х»

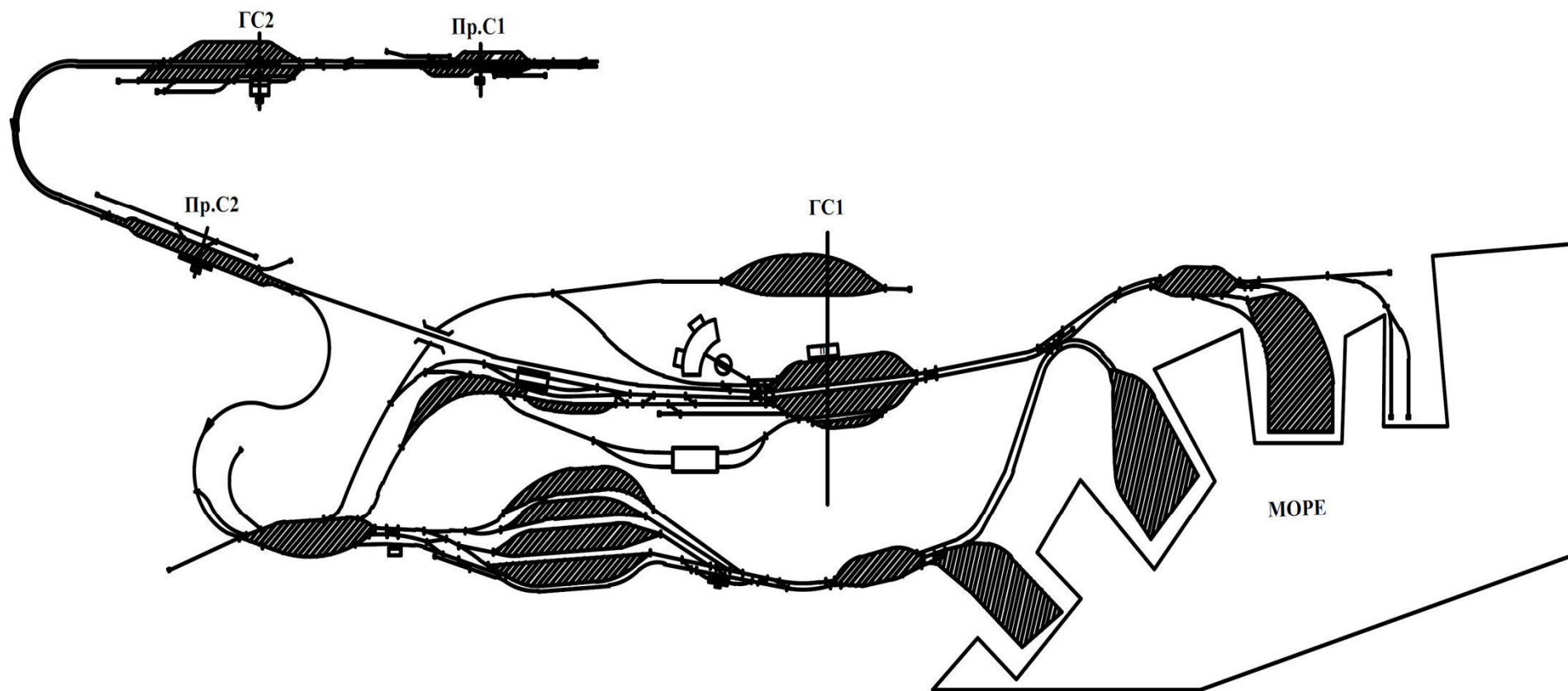


Рисунок П1.12 – Схема железнодорожного узла «Н»

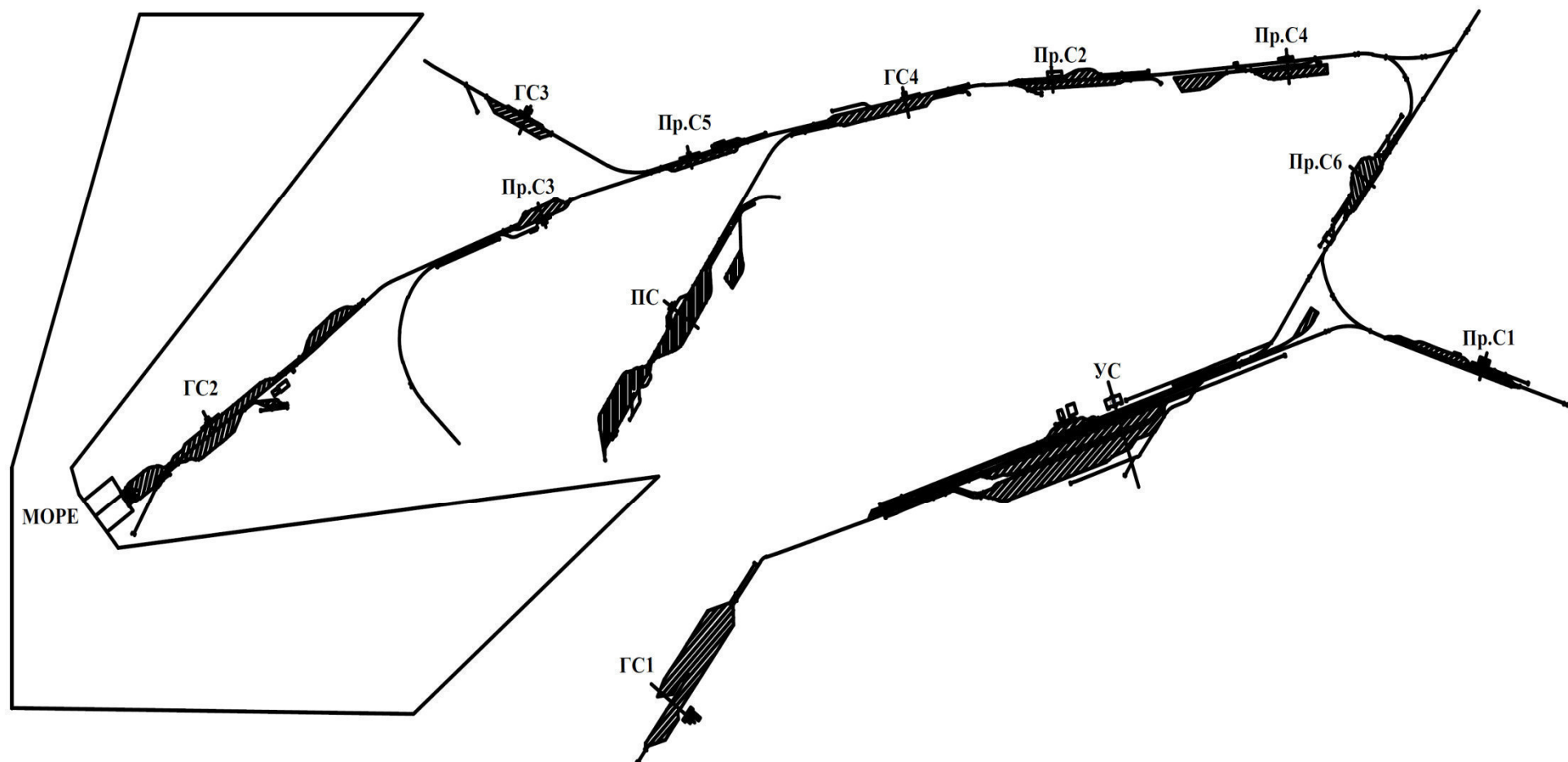


Рисунок П1.13 – Схема железнодорожного узла «С»

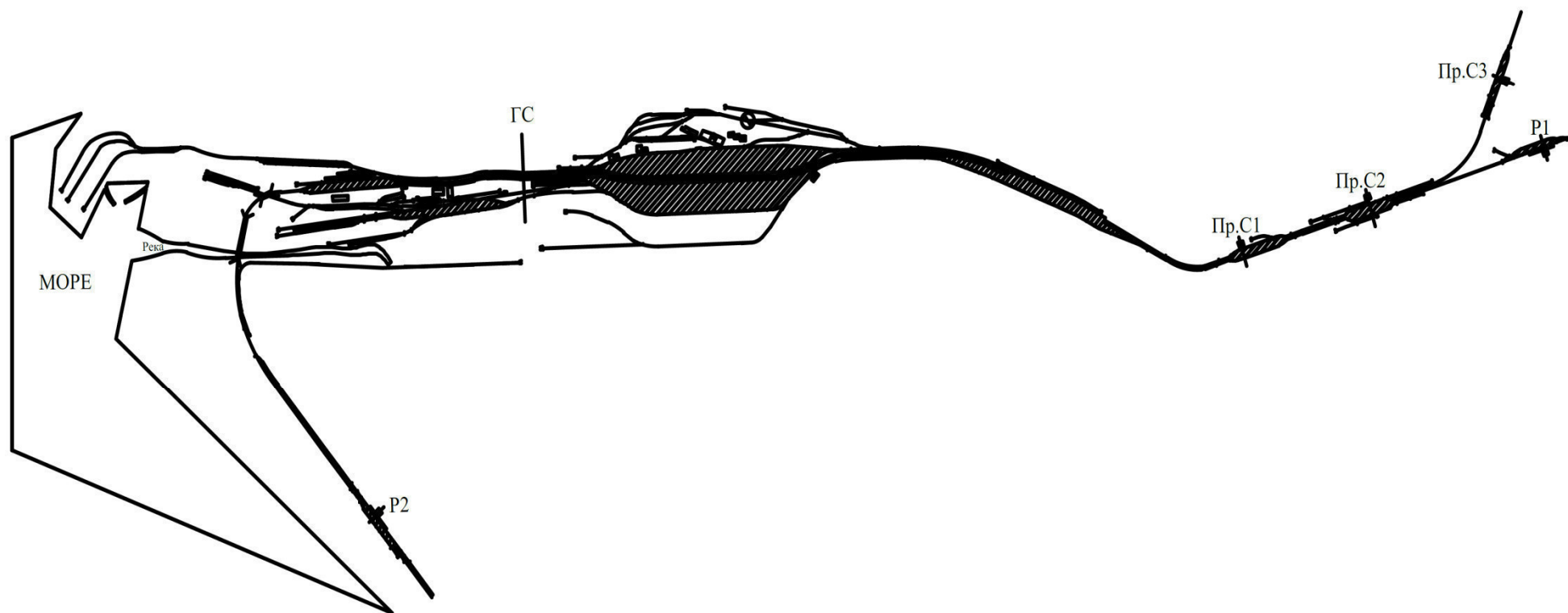


Рисунок П1.14 – Схема железнодорожного узла «Ш»

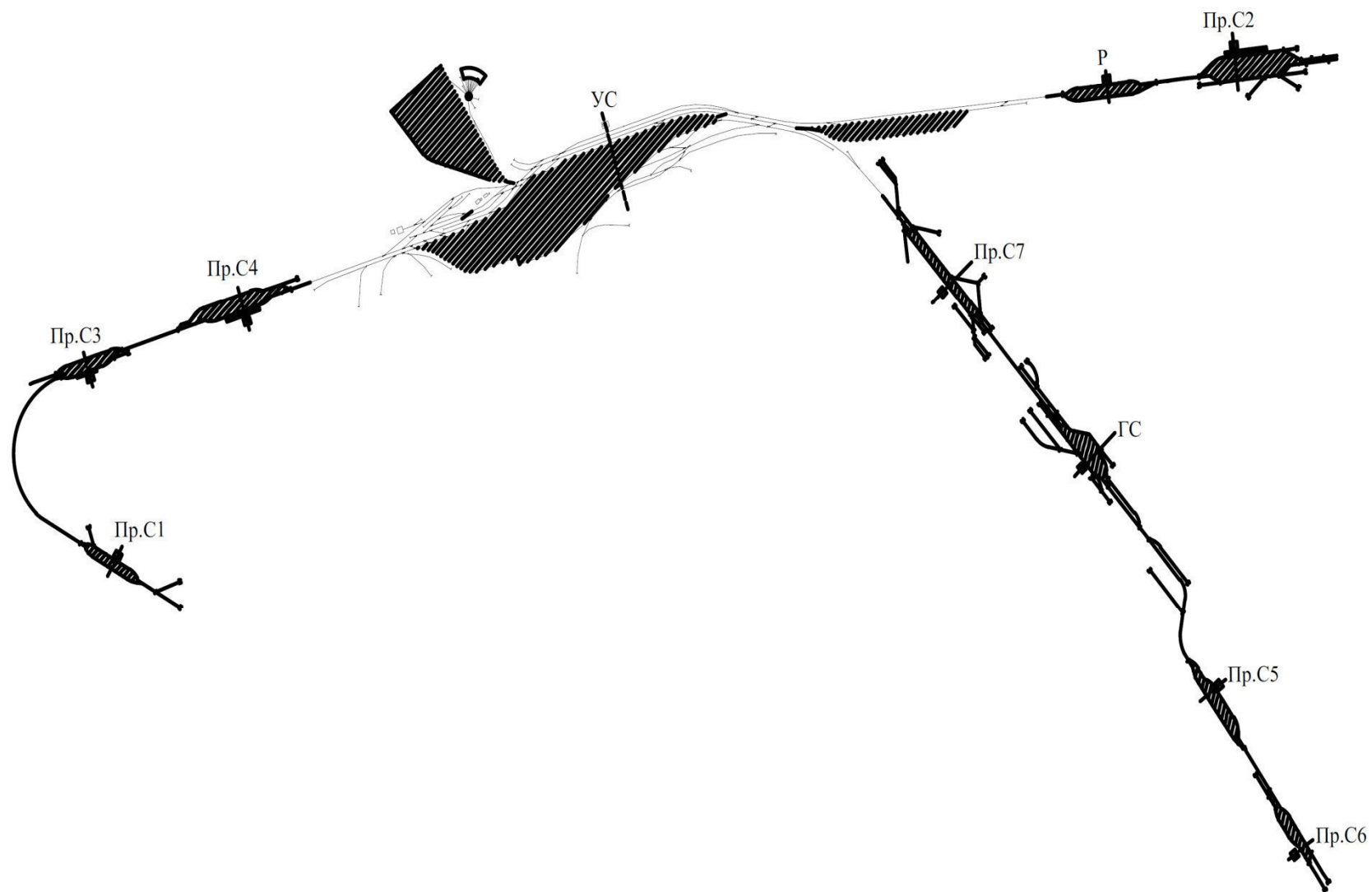


Рисунок П1.15 – Схема железнодорожного узла «А»

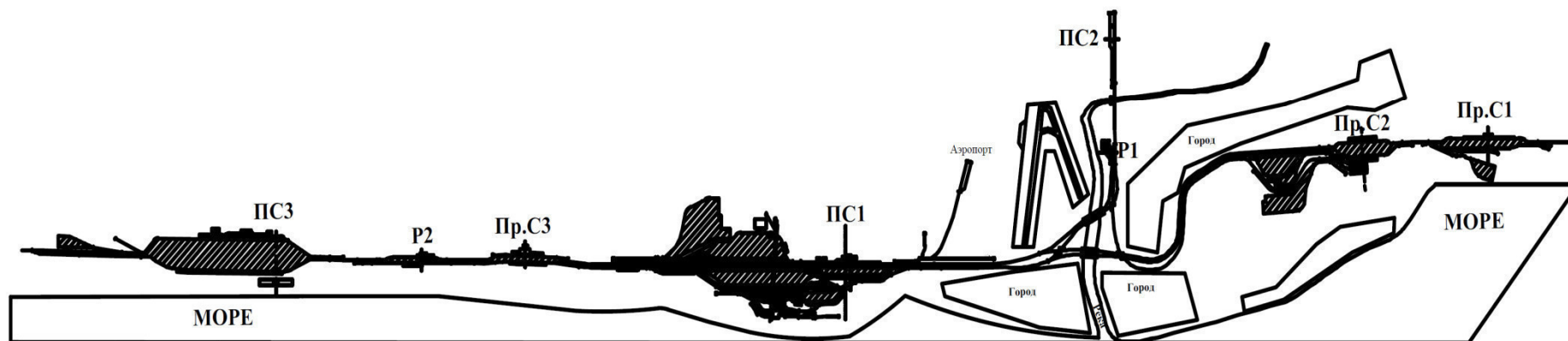


Рисунок П1.16 – Схема железнодорожного узла «И»

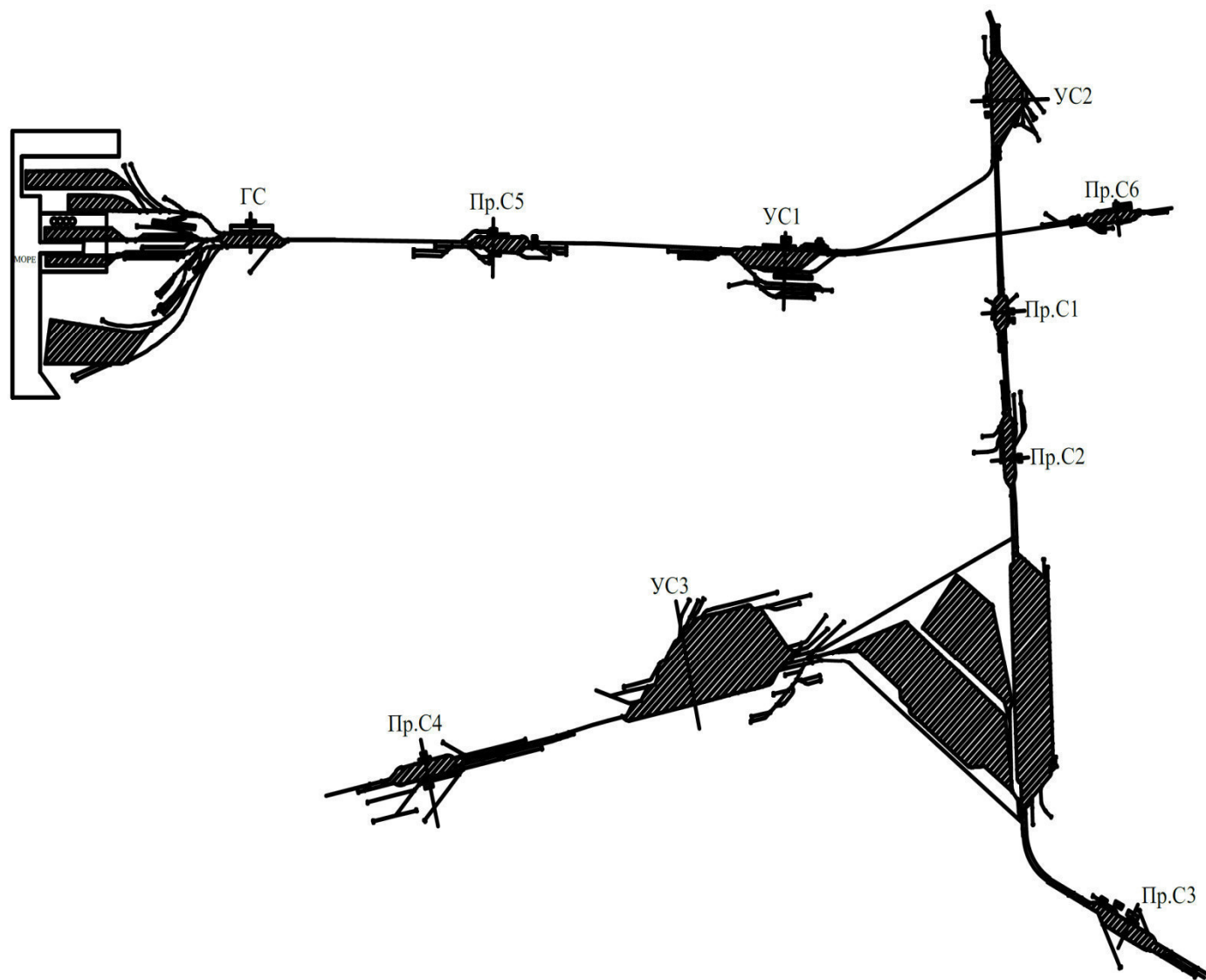


Рисунок П1.17 – Схема железнодорожного узла «Е»

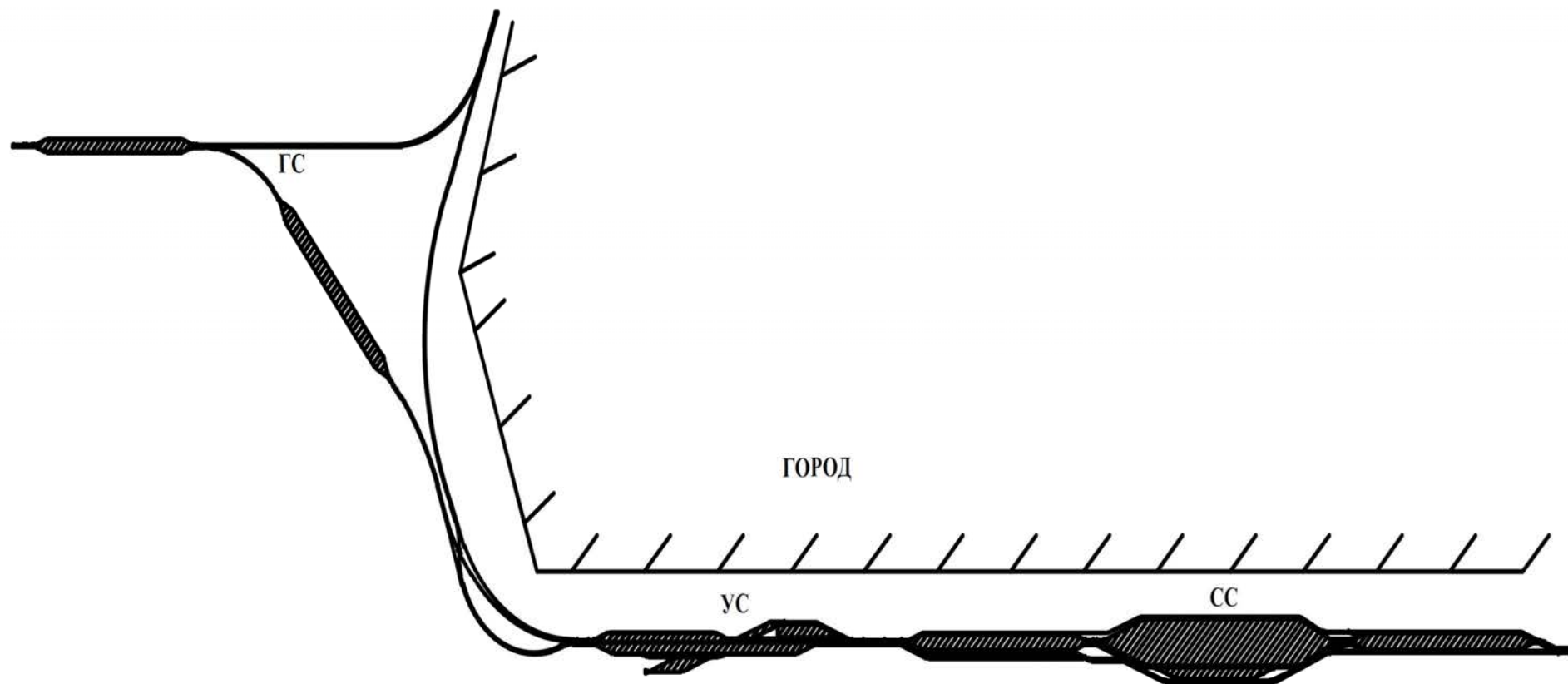


Рисунок П1.18 – Схема железнодорожного узла «В»

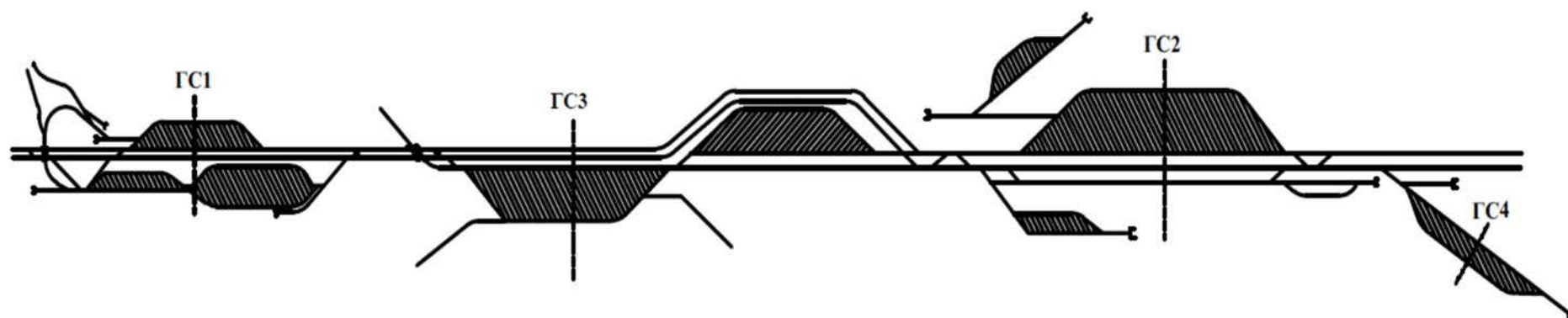


Рисунок П1.19 – Схема железнодорожного узла «Ц»

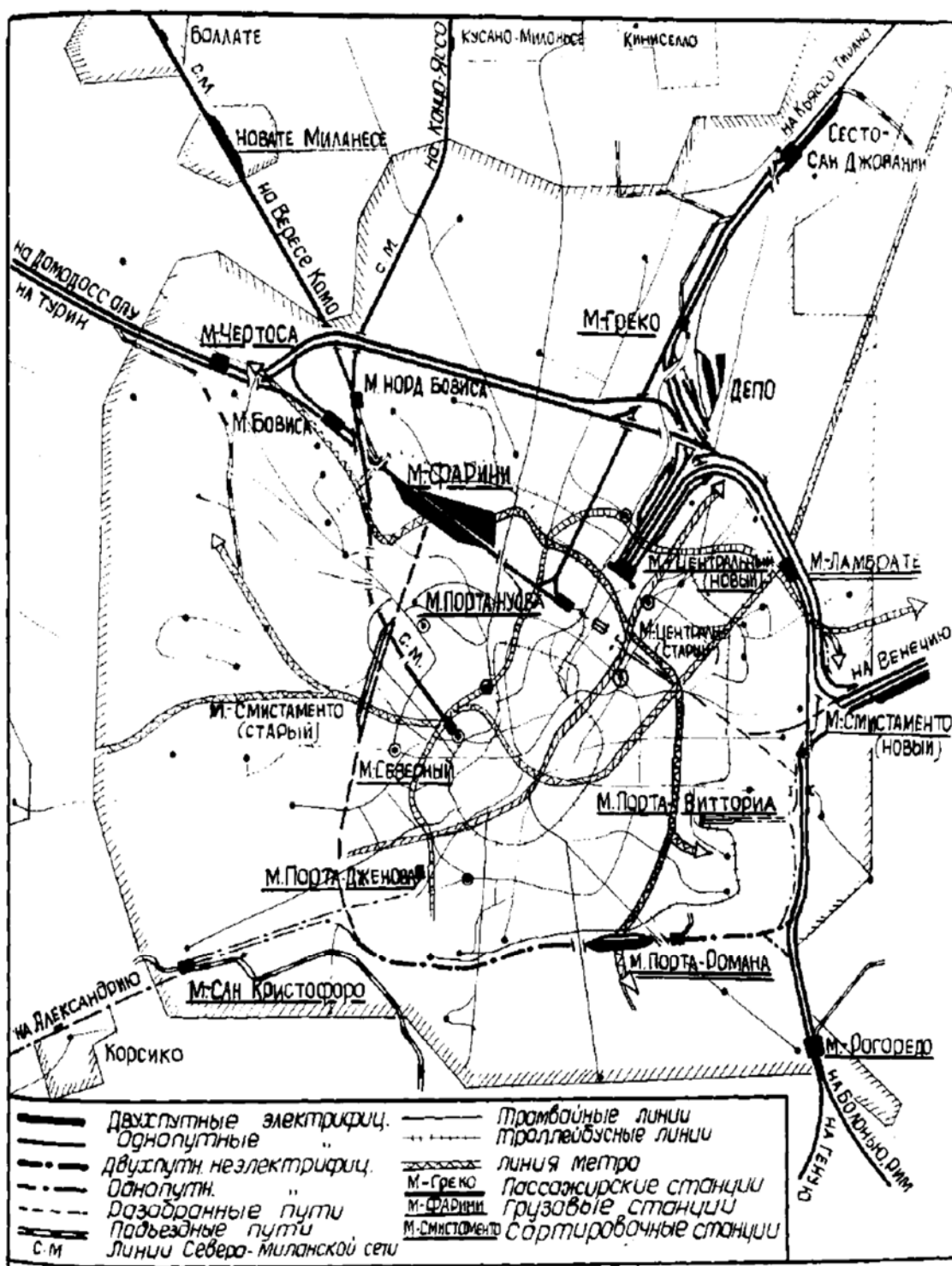


Рисунок П1.20 – Схема Миланского железнодорожного узла

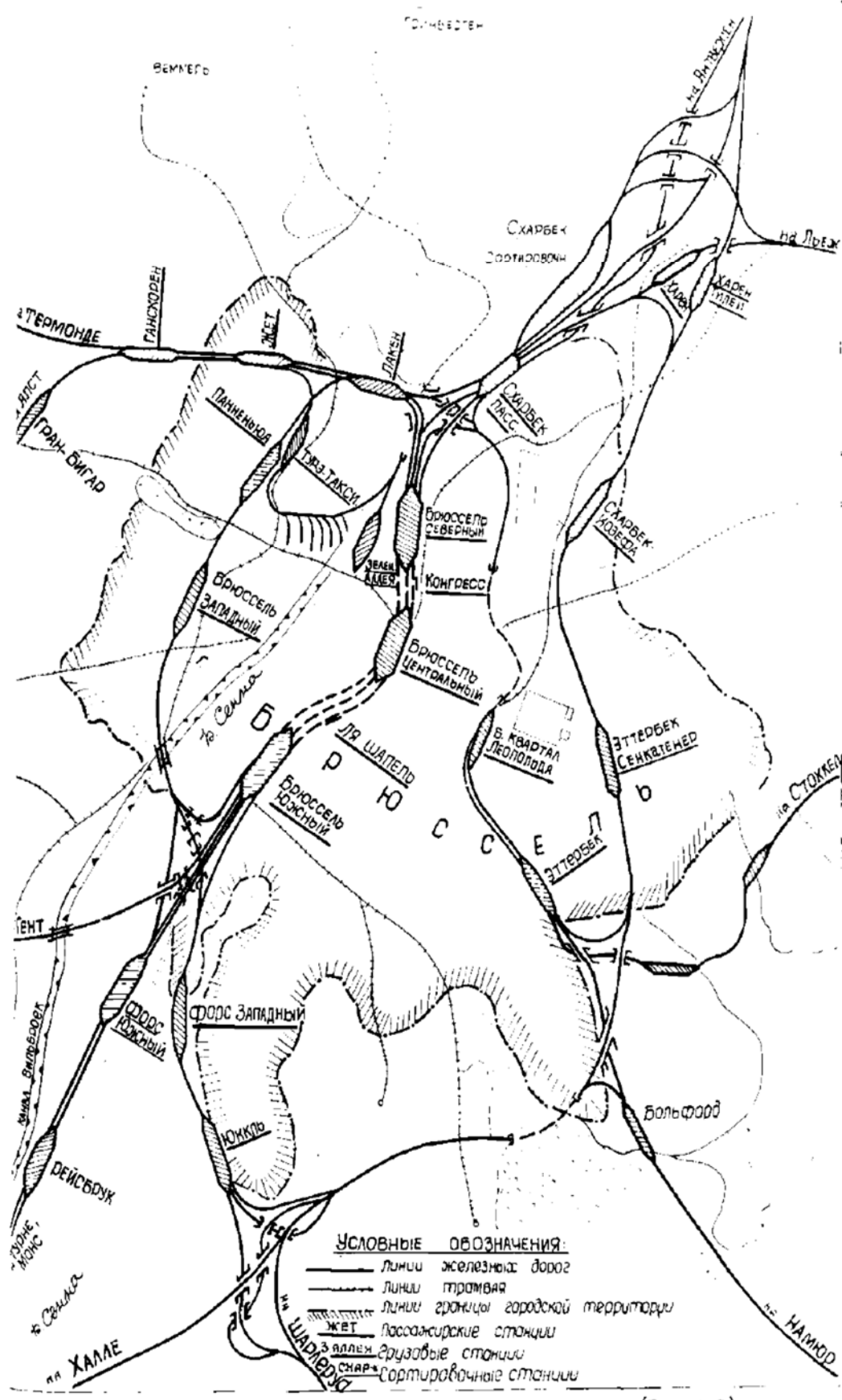


Рисунок П1.21 – Схема Брюссельского железнодорожного узла

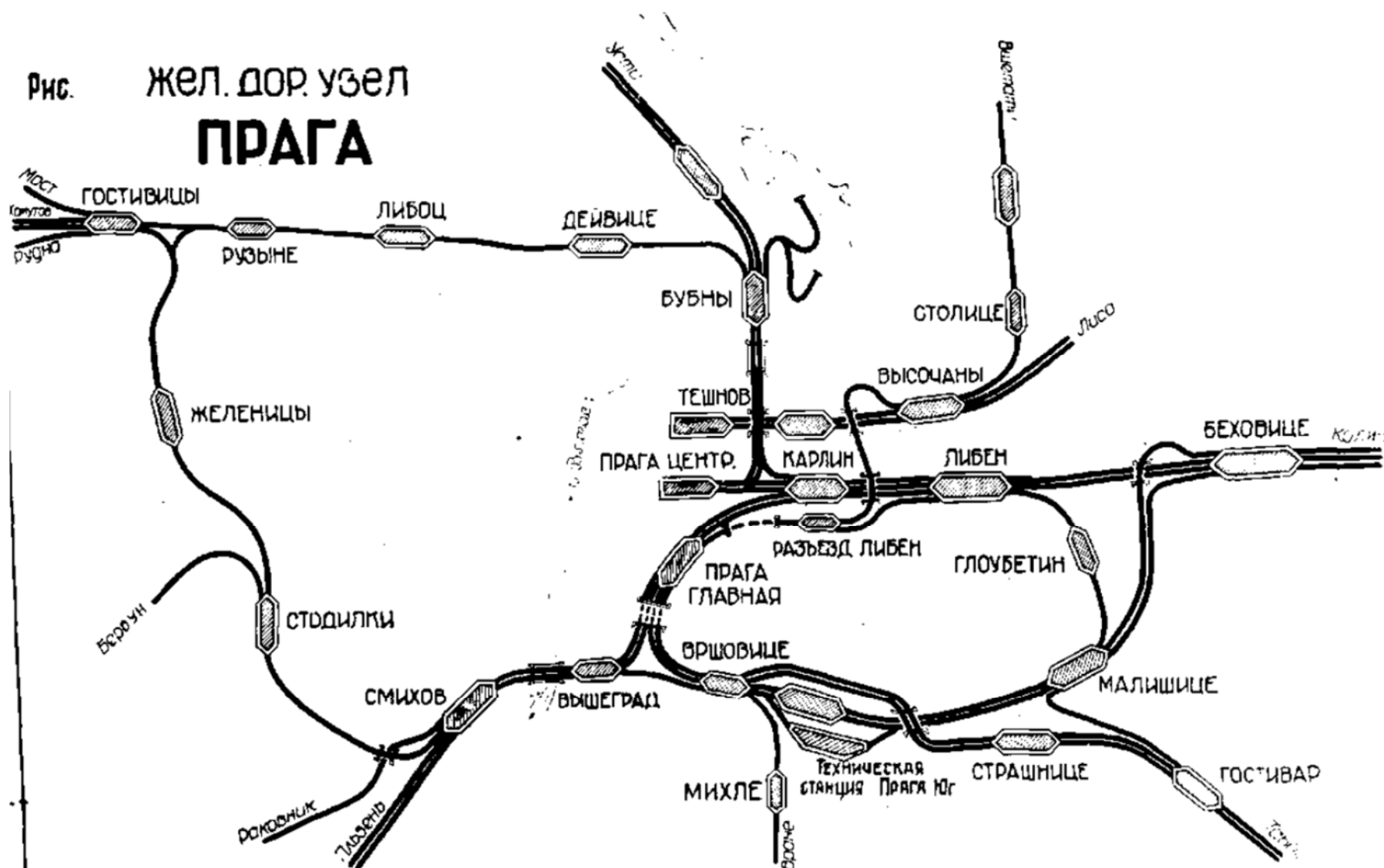


Рисунок П1.22 – Схема Пражского железнодорожного узла



Рисунок П1.23 – Схема Венского железнодорожного узла

Таблица П1 – Инфраструктурные показатели железнодорожных узлов

| Раздельный пункт           | Тип*  | Класс | Приемо-отправочные пути | Сортировочные пути | Погрузочно-выгрузочные пути | Прочие пути | Количество, обслуживаемых подъездных путей |
|----------------------------|-------|-------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------------------|
| 1                          | 2     | 3     | 4                       | 5                  | 6                           | 7           | 8                                          |
| Ростовский узел (Р)        |       |       |                         |                    |                             |             |                                            |
| Гниловская                 | Пр.С1 | 4     | 4                       | 4                  | 1                           | 10          | 20                                         |
| Зоологический сад          | Р1    | 5     | 1                       | 0                  | 0                           | 1           | 0                                          |
| Кизитеринка                | ГС1   | 3     | 9                       | 10                 | 8                           | 14          | 18                                         |
| Первомайская               | ГС2   | 3     | 6                       | 5                  | 1                           | 3           | 13                                         |
| Развилка                   | Р2    | 5     | 1                       | 0                  | 0                           | 4           | 0                                          |
| Ростов-Главный             | ПС    | внекл | 18                      | 0                  | 8                           | 42          | 11                                         |
| Ростов-Западный            | ГС3   | 2     | 11                      | 13                 | 16                          | 21          | 19                                         |
| Ростов-Товарный            | ГС4   | внекл | 12                      | 27                 | 24                          | 26          | 32                                         |
| Темерник                   | ОП    | 5     | 1                       | 0                  | 0                           | 0           | 0                                          |
| Хапры                      | Пр.С2 | 5     | 1                       | 0                  | 3                           | 22          | 4                                          |
| Итого                      |       |       | 64                      | 59                 | 61                          | 143         | 117                                        |
| Длина главного хода        |       |       | 62                      |                    |                             |             |                                            |
| Количество подходов к узлу |       |       | 5                       |                    |                             |             |                                            |
| Батайский узел (Б)         |       |       |                         |                    |                             |             |                                            |
| Азов                       | ГС1   | 2     | 4                       | 3                  | 11                          | 11          | 33                                         |
| Батайск                    | СС    | внекл | 50                      | 56                 | 12                          | 78          | 43                                         |
| Заречная                   | ГС2   | 3     | 6                       | 0                  | 2                           | 7           | 17                                         |
| Зеленый луг                | Р1    | 5     | 2                       | 0                  | 0                           | 1           | 0                                          |
| Койсуг                     | Пр.С  | 5     | 3                       | 0                  | 0                           | 3           | 1                                          |
| Мокрый Батай               | Р2    | 5     | 1                       | 0                  | 0                           | 0           | 1                                          |
| Староминская-Ейская        | УС    | 1     | 8                       | 3                  | 0                           | 11          | 14                                         |
| Итого                      |       |       | 74                      | 62                 | 25                          | 111         | 109                                        |
| Длина главного хода        |       |       | 296                     |                    |                             |             |                                            |
| Количество подходов к узлу |       |       | 6                       |                    |                             |             |                                            |

## Продолжение табл. П1

| 1                          | 2     | 3     | 4   | 5  | 6  | 7   | 8  |
|----------------------------|-------|-------|-----|----|----|-----|----|
| Таганрогский узел (Т)      |       |       |     |    |    |     |    |
| Марцево                    | УС    | 1     | 12  | 15 | 5  | 23  | 13 |
| Матвеев Курган             | Пр.С1 | 3     | 4   | 0  | 5  | 12  | 4  |
| Морская                    | Пр.С2 | 5     | 2   | 0  | 0  | 1   | 0  |
| Неклиновка                 | Пр.С3 | 4     | 3   | 0  | 3  | 3   | 3  |
| Синявская                  | Пр.С4 | 5     | 3   | 0  | 2  | 0   | 1  |
| Таганрог                   | ГС    | внекл | 5   | 10 | 18 | 26  | 14 |
| Таганрог Пассажирский      | ПС    | 2     | 2   | 0  | 0  | 3   | 2  |
| Успенская                  | Пр.С5 | 4     | 2   | 0  | 2  | 3   | 3  |
| Итого                      |       |       | 33  | 25 | 35 | 71  | 40 |
| Длина главного хода        |       |       | 104 |    |    |     |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 2   |    |    |     |    |
| Лиховской узел (Л)         |       |       |     |    |    |     |    |
| Васильевский               | Пр.С1 | 4     | 5   | 0  | 0  | 4   | 2  |
| Гуково                     | ГС1   | 3     | 6   | 0  | 2  | 6   | 5  |
| Замчалово                  | ГС2   | 3     | 9   | 0  | 0  | 3   | 7  |
| Зверево                    | Пр.С2 | 4     | 5   | 0  | 3  | 10  | 5  |
| Каменская                  | ГС3   | 2     | 4   | 0  | 0  | 3   | 9  |
| Лихая                      | СС    | внекл | 54  | 34 | 11 | 98  | 8  |
| Новомихайловская           | ГС4   | 3     | 6   | 0  | 0  | 4   | 3  |
| Предугольная               | Пр.С3 | 5     | 2   | 0  | 0  | 2   | 0  |
| Репная                     | ГС5   | 3     | 7   | 0  | 0  | 7   | 3  |
| Итого                      |       |       | 98  | 34 | 16 | 137 | 42 |
| Длина главного хода        |       |       | 99  |    |    |     |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 6   |    |    |     |    |
| Минераловодский узел (М)   |       |       |     |    |    |     |    |
| Виноградная                | Пр.С1 | 4     | 3   | 0  | 1  | 1   | 1  |
| Георгиевск                 | ГС1   | 1     | 10  | 0  | 5  | 12  | 12 |
| Ессентуки                  | ПС1   | 2     | 2   | 0  | 0  | 3   | 4  |
| Зольский                   | Пр.С2 | 4     | 2   | 0  | 1  | 4   | 1  |
| Кисловодск                 | ПС2   | 3     | 5   | 0  | 8  | 18  | 4  |
| Минеральные Воды           | УС    | внекл | 25  | 15 | 10 | 69  | 7  |
| Михайловская               | Пр.С3 | 4     | 2   | 0  | 0  | 1   | 1  |
| Пятигорск                  | ПС3   | 1     | 2   | 0  | 0  | 6   | 3  |
| Скачки                     | ГС2   | 3     | 4   | 5  | 11 | 10  | 7  |
| Суворовская                | Пр.С4 | 4     | 2   | 0  | 1  | 0   | 2  |
| Итого                      |       |       | 57  | 20 | 37 | 124 | 42 |
| Длина главного хода        |       |       | 151 |    |    |     |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 4   |    |    |     |    |

Продолжение табл. П1

| 1                          | 2     | 3 | 4   | 5  | 6  | 7  | 8  |
|----------------------------|-------|---|-----|----|----|----|----|
| Прохладненский узел (П)    |       |   |     |    |    |    |    |
| Алагир                     | Пр.С1 | 4 | 2   | 0  | 2  | 1  | 5  |
| Ардон                      | Пр.С2 | 3 | 2   | 0  | 3  | 4  | 6  |
| Беслан                     | УС1   | 1 | 8   | 9  | 4  | 12 | 7  |
| Владикавказ                | ГС1   | 1 | 2   | 7  | 8  | 15 | 27 |
| Дарг-Кох                   | Пр.С3 | 4 | 2   | 0  | 2  | 1  | 1  |
| Докшукино                  | ГС2   | 3 | 3   | 0  | 2  | 0  | 5  |
| Консервный                 | Р     | 5 | 2   | 0  | 0  | 3  | 1  |
| Котляревская               | Пр.С4 | 4 | 3   | 0  | 2  | 4  | 2  |
| Назрань                    | ГС3   | 3 | 3   | 0  | 3  | 2  | 2  |
| Нальчик                    | ГС4   | 3 | 6   | 5  | 12 | 11 | 18 |
| Прохладная                 | УС2   | 1 | 16  | 6  | 10 | 23 | 5  |
| Шарданово                  | Пр.С5 | 3 | 3   | 0  | 0  | 3  | 3  |
| Итого                      |       |   | 52  | 27 | 48 | 79 | 82 |
| Длина главного хода        |       |   | 206 |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |   | 3   |    |    |    |    |
| Гудермесский узел (Г)      |       |   |     |    |    |    |    |
| Аргун                      | Пр.С1 | 4 | 5   | 0  | 0  | 3  | 3  |
| Гудермес                   | УС    | 1 | 24  | 6  | 8  | 17 | 11 |
| Джалка                     | Пр.С2 | 5 | 1   | 0  | 0  | 0  | 1  |
| Кади-Юрт                   | Пр.С3 | 5 | 2   | 0  | 0  | 1  | 1  |
| Каргинская                 | Пр.С4 | 5 | 3   | 0  | 0  | 1  | 1  |
| Кизил-Юрт                  | ГС1   | 3 | 4   | 5  | 6  | 7  | 6  |
| Кизляр                     | ГС2   | 2 | 5   | 8  | 4  | 13 | 12 |
| Темиргое                   | Пр.С5 | 5 | 2   | 0  | 0  | 0  | 1  |
| Ханкала                    | ГС3   | 3 | 4   | 0  | 7  | 5  | 2  |
| Хасав-Юрт                  | ГС4   | 3 | 3   | 0  | 7  | 14 | 6  |
| Червленая                  | Пр.С6 | 4 | 4   | 0  | 0  | 5  | 2  |
| Червленая-Узловая          | ГС5   | 3 | 6   | 0  | 0  | 3  | 2  |
| Шелковская                 | Пр.С7 | 5 | 2   | 0  | 1  | 0  | 2  |
| Итого                      |       |   | 65  | 19 | 33 | 69 | 50 |
| Длина главного хода        |       |   | 225 |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |   | 4   |    |    |    |    |

## Продолжение табл. П1

|                            |       |       |     |    |    |    |    |
|----------------------------|-------|-------|-----|----|----|----|----|
| 1                          | 2     | 3     | 4   | 5  | 6  | 7  | 8  |
| Махачкалинский узел (Ч)    |       |       |     |    |    |    |    |
| Буйнакск                   | Пр.С1 | 5     | 2   | 0  | 4  | 3  | 3  |
| Манас                      | Пр.С2 | 5     | 2   | 0  | 2  | 2  | 2  |
| Махачкала порт             | Пр.С3 | 4     | 8   | 0  | 9  | 17 | 4  |
| Махачкала Сортировочная    | УС    | 1     | 21  | 29 | 15 | 30 | 6  |
| Тарки                      | Пр.С4 | 5     | 3   | 0  | 0  | 5  | 1  |
| Шамхал                     | Пр.С5 | 4     | 3   | 2  | 1  | 5  | 3  |
| Итого                      |       |       | 39  | 31 | 31 | 62 | 19 |
| Длина главного хода        |       |       | 90  |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 2   |    |    |    |    |
| Краснодарский узел (К)     |       |       |     |    |    |    |    |
| Афипская                   | ГС1   | 2     | 3   | 10 | 3  | 6  | 4  |
| Витаминный                 | Р1    | 5     | 2   | 0  | 0  | 2  | 0  |
| Краснодар - Сортировочный  | СС    | внекл | 20  | 27 | 9  | 14 | 21 |
| Краснодар I                | ПС    | 2     | 10  | 10 | 5  | 16 | 9  |
| Краснодар II               | ГС2   | 2     | 7   | 0  | 6  | 2  | 10 |
| Лорис                      | Р2    | 5     | 2   | 0  | 0  | 1  | 0  |
| Пашковская                 | Р3    | 5     | 2   | 0  | 1  | 1  | 1  |
| Энем I                     | Пр.С1 | 4     | 2   | 0  | 1  | 0  | 3  |
| Энем II                    | Пр.С1 | 4     | 2   | 0  | 0  | 2  | 2  |
| Итого                      |       |       | 50  | 47 | 25 | 44 | 50 |
| Длина главного хода        |       |       | 80  |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 5   |    |    |    |    |
| Кавказский узел (З)        |       |       |     |    |    |    |    |
| Армавир-Ростовский         | УС1   | 1     | 13  | 13 | 6  | 7  | 4  |
| Армавир-Туапсинский        | УС2   | 1     | 13  | 3  | 1  | 8  | 10 |
| Гетмановская               | ГС1   | 2     | 9   | 7  | 4  | 2  | 4  |
| Гирей                      | ГС2   | 2     | 8   | 1  | 0  | 6  | 9  |
| Гулькевичи                 | Пр.С1 | 4     | 2   | 1  | 3  | 3  | 4  |
| Кавказская                 | УС3   | внекл | 31  | 8  | 7  | 21 | 9  |
| Коноково                   | Пр.С2 | 4     | 6   | 0  | 2  | 6  | 7  |
| Кубанская                  | Пр.С3 | 4     | 3   | 0  | 1  | 3  | 8  |
| Милованово                 | Пр.С4 | 3     | 3   | 0  | 1  | 0  | 3  |
| Мирская                    | Пр.С5 | 5     | 4   | 0  | 1  | 0  | 1  |
| Отрадно-Кубанская          | ГС3   | 3     | 5   | 0  | 1  | 2  | 3  |
| Итого                      |       |       | 97  | 33 | 27 | 58 | 62 |
| Длина главного хода        |       |       | 142 |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 5   |    |    |    |    |

Продолжение табл. П1

|                            |       |       |     |    |    |     |    |
|----------------------------|-------|-------|-----|----|----|-----|----|
| 1                          | 2     | 3     | 4   | 5  | 6  | 7   | 8  |
| Тихорецкий узел (Х)        |       |       |     |    |    |     |    |
| Ачкасово                   | Р     | 5     | 2   | 0  | 0  | 0   | 0  |
| Леушковская                | Пр.С1 | 5     | 2   | 0  | 2  | 4   | 2  |
| Малороссийская             | Пр.С2 | 4     | 5   | 0  | 2  | 3   | 2  |
| Тихонький                  | Пр.С3 | 5     | 4   | 0  | 5  | 4   | 1  |
| Тихорецкая                 | СС    | внекл | 45  | 31 | 11 | 22  | 22 |
| Челбас                     | Пр.С4 | 5     | 2   | 0  | 2  | 1   | 0  |
| Шохры                      | Пр.С5 | 5     | 4   | 0  | 0  | 1   | 0  |
| Итого                      |       |       | 64  | 31 | 22 | 35  | 27 |
| Длина главного хода        |       |       | 64  |    |    |     |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 4   |    |    |     |    |
| Новороссийский узел (Н)    |       |       |     |    |    |     |    |
| Баканская                  | Пр.С1 | 5     | 4   | 0  | 2  | 2   | 3  |
| Гайдук                     | Пр.С2 | 5     | 3   | 0  | 0  | 2   | 2  |
| Новороссийск               | ГС1   | внекл | 18  | 44 | 26 | 95  | 50 |
| Тоннельная                 | ГС2   | 3     | 5   | 1  | 3  | 2   | 4  |
| Итого                      |       |       | 30  | 45 | 31 | 101 | 59 |
| Длина главного хода        |       |       | 37  |    |    |     |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 1   |    |    |     |    |
| Крымский узел (С)          |       |       |     |    |    |     |    |
| Абинская                   | Пр.С1 | 5     | 3   | 0  | 1  | 3   | 1  |
| Анапа                      | ПС    | 2     | 7   | 7  | 4  | 7   | 3  |
| Варениковская              | Пр.С2 | 4     | 2   | 0  | 3  | 2   | 2  |
| Вышестеблиевская           | Пр.С3 | 4     | 2   | 0  | 0  | 2   | 2  |
| Грушевая                   | ГС1   | 1     | 4   | 5  | 1  | 4   | 1  |
| Кавказ                     | ГС2   | 2     | 6   | 3  | 2  | 6   | 6  |
| Киевский                   | Пр.С4 | 5     | 3   | 0  | 1  | 2   | 0  |
| Красная стрела             | Пр.С5 | 4     | 2   | 0  | 1  | 1   | 0  |
| Крымская                   | УС    | 1     | 6   | 7  | 7  | 20  | 14 |
| 9 км                       | Пр.С6 | 5     | 2   | 0  | 0  | 3   | 0  |
| Темрюк                     | ГС3   | 4     | 5   | 3  | 2  | 2   | 10 |
| Юровский                   | ГС4   | 3     | 3   | 0  | 1  | 2   | 4  |
| Итого                      |       |       | 45  | 25 | 23 | 54  | 43 |
| Длина главного хода        |       |       | 246 |    |    |     |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 2   |    |    |     |    |

## Продолжение табл. П1

|                            |       |       |     |    |    |    |    |
|----------------------------|-------|-------|-----|----|----|----|----|
| 1                          | 2     | 3     | 4   | 5  | 6  | 7  | 8  |
| Туапсинский узел (Ш)       |       |       |     |    |    |    |    |
| Греческий                  | Пр.С1 | 5     | 2   | 0  | 1  | 0  | 0  |
| Индюк                      | Р1    | 5     | 2   | 0  | 0  | 1  | 0  |
| Кривенковская              | Пр.С2 | 4     | 4   | 0  | 1  | 4  | 0  |
| Туапсе-Сортировочная       | ГС    | внекл | 19  | 8  | 15 | 18 | 16 |
| Чилипси                    | Пр.С3 | 5     | 2   | 0  | 0  | 3  | 0  |
| Шепси                      | Р2    | 5     | 2   | 0  | 0  | 0  | 1  |
| Итого                      |       |       | 31  | 8  | 17 | 26 | 17 |
| Длина главного хода        |       |       | 49  |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 3   |    |    |    |    |
| Белореченский узел (А)     |       |       |     |    |    |    |    |
| Апшеронская                | Пр.С1 | 4     | 3   | 0  | 7  | 2  | 6  |
| Белореченская              | УС    | 1     | 20  | 12 | 4  | 12 | 21 |
| Гиагинская                 | Пр.С2 | 4     | 4   | 0  | 1  | 0  | 2  |
| Гончарка                   | Р     | 5     | 3   | 0  | 1  | 0  | 0  |
| Комсомольская              | Пр.С3 | 4     | 4   | 0  | 2  | 2  | 0  |
| Майкоп                     | ГС    | 2     | 6   | 0  | 8  | 5  | 10 |
| Пшехская                   | Пр.С4 | 5     | 4   | 0  | 0  | 1  | 0  |
| Тульская                   | Пр.С5 | 4     | 2   | 0  | 1  | 0  | 1  |
| Хаджох                     | Пр.С6 | 5     | 2   | 0  | 1  | 1  | 2  |
| Ханская                    | Пр.С7 | 5     | 2   | 0  | 2  | 3  | 0  |
| Итого                      |       |       | 50  | 12 | 27 | 26 | 42 |
| Длина главного хода        |       |       | 133 |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 2   |    |    |    |    |
| Сочинский узел (И)         |       |       |     |    |    |    |    |
| Адлер                      | ПС1   | 1     | 19  | 0  | 5  | 46 | 6  |
| Альпика-Сервис             | ПС2   | 2     | 6   | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Веселое                    | Пр.С1 | 4     | 3   | 0  | 0  | 1  | 1  |
| Имеретинский курорт        | Пр.С2 | 4     | 4   | 0  | 0  | 20 | 0  |
| Мацеста                    | Р1    | 5     | 2   | 0  | 0  | 2  | 2  |
| Разъезд 5 км               | Р2    | 5     | 2   | 0  | 2  | 1  | 0  |
| Сочи                       | ПС3   | 1     | 9   | 0  |    |    |    |
| Хоста                      | Пр.С3 | 4     | 3   | 0  | 0  | 1  | 0  |
| Итого                      |       |       | 48  | 0  | 7  | 71 | 9  |
| Длина главного хода        |       |       | 83  |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 2   |    |    |    |    |

## Продолжение табл. П1

|                            |       |       |     |    |    |    |    |
|----------------------------|-------|-------|-----|----|----|----|----|
| 1                          | 2     | 3     | 4   | 5  | 6  | 7  | 8  |
| Тимашевский узел (Е)       |       |       |     |    |    |    |    |
| Албаши                     | Пр.С1 | 4     | 3   | 0  | 2  | 3  | 4  |
| Брюховецкая                | Пр.С2 | 4     | 2   | 0  | 1  | 3  | 3  |
| Ведмидивка                 | Пр.С3 | 4     | 3   | 0  | 1  | 1  | 2  |
| Величковка                 | Пр.С4 | 4     | 4   | 0  | 2  | 1  | 9  |
| Ейск                       | ГС    | 1     | 2   | 3  | 11 | 4  | 13 |
| Староминская-Ейская        | УС1   | 1     | 10  | 4  | 2  | 9  | 4  |
| Староминская-Тимашевская   | УС2   | 1     | 10  | 2  |    |    |    |
| Староцербиновская          | Пр.С5 | 4     | 2   | 0  | 2  | 0  | 6  |
| Тимашевская                | УС3   | 1     | 12  | 9  | 8  | 9  | 7  |
| Уманская                   | Пр.С6 | 4     | 2   | 0  | 7  | 1  | 4  |
| Итого                      |       |       | 50  | 18 | 36 | 31 | 52 |
| Длина главного хода        |       |       | 251 |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 4   |    |    |    |    |
| Вологодский узел (В)       |       |       |     |    |    |    |    |
| Вологда 1                  | УС    | 1     | 14  | 11 |    |    |    |
| Вологда 2                  | ГС    | 2     | 13  | 8  |    |    |    |
| Лоста                      | СС    | внекл | 39  | 36 |    |    |    |
| Итого                      |       |       | 66  | 55 |    |    |    |
| Длина главного хода        |       |       | 11  |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 3   |    |    |    |    |
| Череповецкий узел (Ц)      |       |       |     |    |    |    |    |
| Кошта                      | ГС1   | 1     | 12  | 24 | 0  | 5  | 4  |
| Череповец-1                | ГС2   | 1     | 13  | 0  | 4  | 10 | 4  |
| Череповец-2                | ГС3   | 1     | 13  | 24 | 0  | 0  | 2  |
| Череповец-Пристань         | ГС4   | 4     | 4   | 0  | 1  | 0  | 6  |
| Итого                      |       |       | 42  | 48 | 5  | 15 | 16 |
| Длина главного хода        |       |       | 15  |    |    |    |    |
| Количество подходов к узлу |       |       | 4   |    |    |    |    |

\*Примечание

СС – сортировочная станция; УС – участковая станция; ГС- грузовая станция; ПС – пассажирская станция;

Пр.С – промежуточная станция; Р – разъезд; ОП – обгонный пункт

Визуализация железнодорожной узловой инфраструктуры

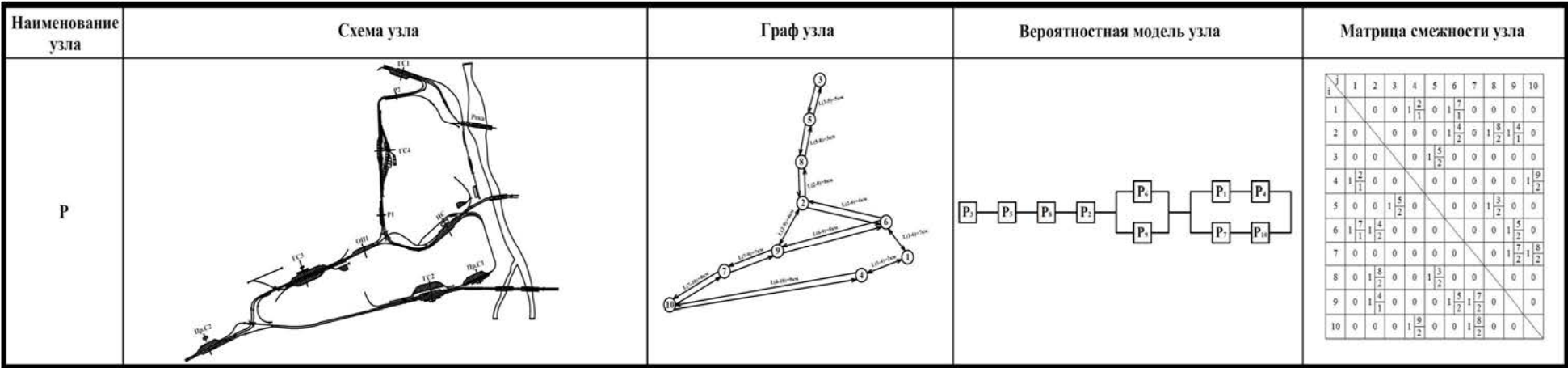


Рисунок П2.1 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Р»

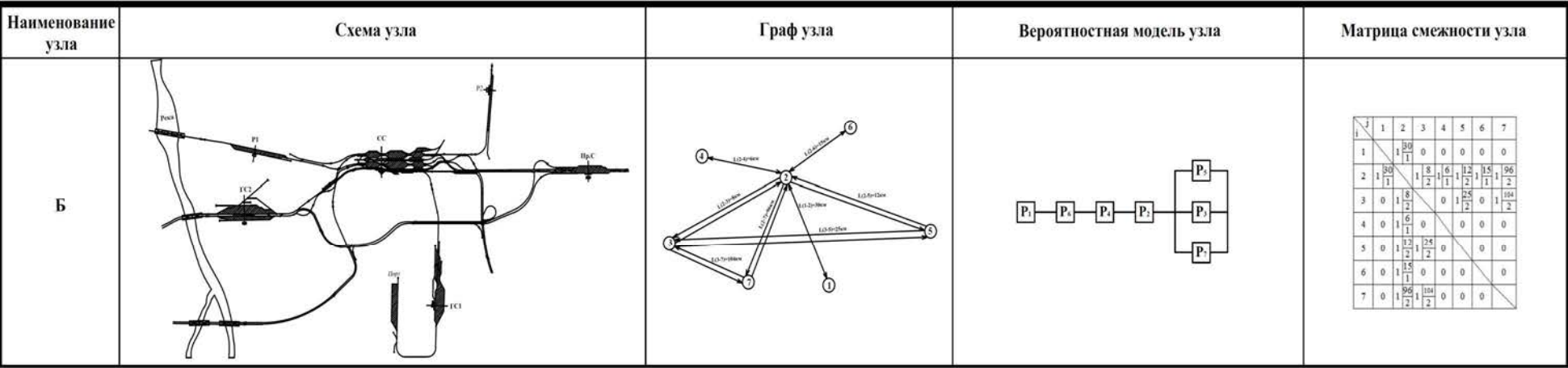


Рисунок П2.2 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Б»

| Наименование узла | Схема узла | Граф узла | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла |
|-------------------|------------|-----------|---------------------------|------------------------|
| T                 |            |           |                           |                        |

Рисунок П2.3 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Т»

| Наименование узла | Схема узла | Граф узла | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |     |     |     |     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
|-------------------|------------|-----------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|-----|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|-----|---|-----|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|-----|-----|---|---|---|-----|---|---|-----|---|---|---|---|-----|---|---|---|
| Л                 |            |           |                           | <table><tr><th>j</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th></tr><tr><th>i</th><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1/6</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>1/4</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>1/4</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1/2</td><td>0</td><td>1/8</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1/2</td><td>1/4</td><td>0</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1/2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>1/2</td><td>0</td><td>1/2</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1/2</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1/3</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>1/8</td><td>1/2</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1/3</td><td>0</td></tr><tr><td>9</td><td>1/6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1/2</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></table> | j   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | i | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1/6 | 2 | 0 | 1 | 1/4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1/4 | 1 | 0 | 0 | 1/2 | 0 | 1/8 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1/2 | 1/4 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1/2 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 1/2 | 0 | 1/2 | 1 | 0 | 0 | 1/2 | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1/3 | 0 | 8 | 0 | 0 | 1/8 | 1/2 | 0 | 0 | 1 | 1/3 | 0 | 9 | 1/6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1/2 | 0 | 0 | 1 |
| j                 | 1          | 2         | 3                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
| i                 | 1          | 0         | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1/6 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
| 2                 | 0          | 1         | 1/4                       | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
| 3                 | 0          | 1/4       | 1                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0   | 1/2 | 0   | 1/8 | 0   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
| 4                 | 0          | 0         | 0                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0   | 0   | 1/2 | 1/4 | 0   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
| 5                 | 0          | 0         | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1   | 1/2 | 0   | 0   | 0   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
| 6                 | 0          | 0         | 1/2                       | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1/2 | 1   | 0   | 0   | 1/2 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
| 7                 | 0          | 0         | 0                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0   | 0   | 1   | 1/3 | 0   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
| 8                 | 0          | 0         | 1/8                       | 1/2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0   | 0   | 1   | 1/3 | 0   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |
| 9                 | 1/6        | 0         | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0   | 1/2 | 0   | 0   | 1   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |     |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |     |     |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |     |   |   |   |

Рисунок П2.4 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Л»

| Наименование узла | Схема узла     | Граф узла      | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |   |                |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
|-------------------|----------------|----------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|----------------|---|---|----------------|---|---|---|---|----|---|---|----------------|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|----------------|---|----------------|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|----------------|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|----------------|---|---|----------------|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---------------|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---------------|----|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|
| M                 |                |                |                           | <table><tr><td>j \ i</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td><math>\frac{10}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{19}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td><math>\frac{10}{2}</math></td><td>1</td><td><math>\frac{19}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{17}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{21}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{12}{2}</math></td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{19}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{21}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td><math>\frac{19}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{27}{2}</math></td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{21}{2}</math></td></tr><tr><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{17}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{27}{2}</math></td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{5}{2}</math></td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{12}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{5}{2}</math></td></tr><tr><td>10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{21}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table> | j \ i          | 1 | 2              | 3 | 4 | 5              | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 1 | $\frac{10}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{19}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 2 | $\frac{10}{2}$ | 1 | $\frac{19}{2}$ | 0 | 0 | 1 | $\frac{17}{1}$ | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{21}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{12}{2}$ | 4 | 0 | 1 | $\frac{19}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | $\frac{21}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | $\frac{19}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{27}{2}$ | 0 | 1 | $\frac{21}{2}$ | 7 | 0 | 1 | $\frac{17}{1}$ | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{27}{2}$ | 0 | 1 | $\frac{5}{2}$ | 9 | 0 | 0 | 1 | $\frac{12}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{5}{2}$ | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{21}{2}$ | 0 | 0 | 0 |
| j \ i             | 1              | 2              | 3                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 5              | 6 | 7              | 8 | 9 | 10             |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 1                 | 1              | $\frac{10}{2}$ | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0              | 1 | $\frac{19}{2}$ | 0 | 0 | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 2                 | $\frac{10}{2}$ | 1              | $\frac{19}{2}$            | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0              | 1 | $\frac{17}{1}$ | 0 | 0 | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 3                 | 0              | 0              | 0                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\frac{21}{2}$ | 0 | 0              | 0 | 1 | $\frac{12}{2}$ |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 4                 | 0              | 1              | $\frac{19}{2}$            | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0              | 0 | 0              | 0 | 0 | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 5                 | 0              | 0              | 1                         | $\frac{21}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0              | 0 | 0              | 0 | 0 | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 6                 | $\frac{19}{2}$ | 0              | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0              | 1 | $\frac{27}{2}$ | 0 | 1 | $\frac{21}{2}$ |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 7                 | 0              | 1              | $\frac{17}{1}$            | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0              | 0 | 1              | 0 | 0 | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 8                 | 0              | 0              | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0              | 1 | $\frac{27}{2}$ | 0 | 1 | $\frac{5}{2}$  |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 9                 | 0              | 0              | 1                         | $\frac{12}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0              | 0 | 0              | 0 | 1 | $\frac{5}{2}$  |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 10                | 0              | 0              | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0              | 1 | $\frac{21}{2}$ | 0 | 0 | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |               |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |

Рисунок П2.5 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «М»

| Наименование узла | Схема узла    | Граф узла     | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |               |               |               |               |               |               |               |               |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
|-------------------|---------------|---------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---|---|----|----|----|---|---|---------------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---------------|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---------------|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---------------|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---------------|---------------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---------------|
| II                |               |               |                           | <table><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{6}</math></td><td><math>\frac{1}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td><math>\frac{1}{6}</math></td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{3}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td><math>\frac{1}{1}</math></td><td>0</td><td><math>\frac{1}{3}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td><math>\frac{1}{3}</math></td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{6}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{3}</math></td><td><math>\frac{1}{1}</math></td><td>0</td><td><math>\frac{1}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{3}</math></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{6}</math></td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{3}</math></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{3}</math></td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{6}</math></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{3}</math></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>11</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{3}</math></td><td>1</td><td><math>\frac{1}{9}</math></td><td><math>\frac{1}{2}</math></td></tr><tr><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{9}</math></td><td><math>\frac{1}{2}</math></td></tr></table> |               | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 1 | $\frac{1}{6}$ | $\frac{1}{1}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | $\frac{1}{6}$ | 1 | 0 | 1 | $\frac{1}{3}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{1}$ | 0 | $\frac{1}{3}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{6}$ | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{1}$ | 0 | $\frac{1}{1}$ | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{3}$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{6}$ | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{3}$ | 1 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{3}$ | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{6}$ | 1 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{3}$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{3}$ | 1 | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{2}$ | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{2}$ |
|                   | 1             | 2             | 3                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             | 10            | 11            | 12            |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 1                 | 1             | $\frac{1}{6}$ | $\frac{1}{1}$             | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 2                 | $\frac{1}{6}$ | 1             | 0                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $\frac{1}{3}$ | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 3                 | 0             | 0             | 1                         | $\frac{1}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $\frac{1}{1}$ | 0             | $\frac{1}{3}$ | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 4                 | 0             | 0             | 1                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 5                 | 0             | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2}$             | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1             | 0             | 0             | 1             | $\frac{1}{6}$ | 0             | 0             | 0             |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 6                 | 0             | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0             | 1             | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{1}$ | 0             | $\frac{1}{1}$ | 0             | 0             |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 7                 | 0             | 0             | 1                         | $\frac{1}{3}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1             | 0             | 0             | 0             | 1             | $\frac{1}{6}$ | 0             | 0             |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 8                 | 0             | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0             | 1             | $\frac{1}{3}$ | 1             | 0             | 0             | 1             | $\frac{1}{3}$ |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 9                 | 0             | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0             | 0             | 0             | 1             | $\frac{1}{6}$ | 1             | 0             | 0             |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 10                | 0             | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1             | $\frac{1}{3}$ | 1             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 11                | 0             | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0             | 0             | 0             | 1             | $\frac{1}{3}$ | 1             | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{2}$ |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |
| 12                | 0             | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 1             | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{2}$ |   |   |    |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |               |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |    |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |               |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |

Рисунок П2.6 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «П»

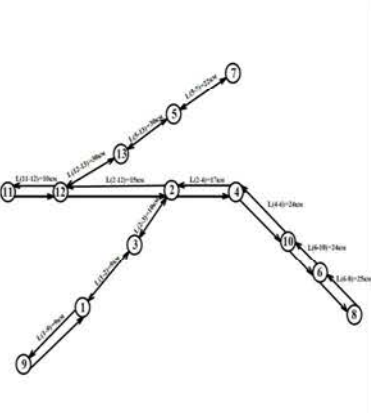
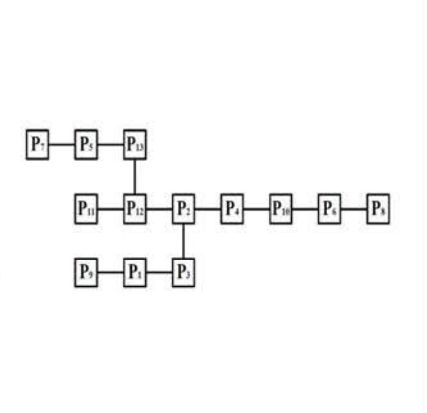
| Наименование узла | Схема узла                                                                        | Граф узла                                                                          | Вероятностная модель узла                                                           | Матрица смежности узла                                                              |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Г                 |  |  |  |  |

Рисунок П2.7 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Г»

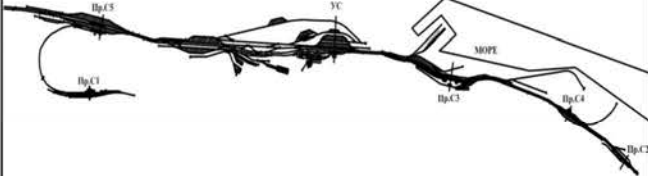
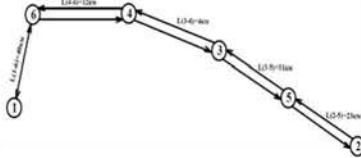
| Наименование узла | Схема узла                                                                          | Граф узла                                                                            | Вероятностная модель узла                                                             | Матрица смежности узла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |               |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---------------|----------------|---|---|---|---|---------------|---|----------------|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|----------------|---|---|----------------|---|
| Ч                 |  |  |  | <table data-bbox="1830 1007 2002 1243"><tr><td>i \ j</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td><math>\frac{40}{1}</math></td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{23}{2}</math></td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{4}{2}</math></td><td><math>\frac{11}{2}</math></td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{4}{2}</math></td><td>0</td><td><math>\frac{12}{2}</math></td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{23}{2}</math></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>1</td><td><math>\frac{40}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td><td><math>\frac{12}{2}</math></td><td>0</td></tr></table> | i \ j          | 1              | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | $\frac{40}{1}$ | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | $\frac{23}{2}$ | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{4}{2}$ | $\frac{11}{2}$ | 4 | 0 | 0 | 1 | $\frac{4}{2}$ | 0 | $\frac{12}{2}$ | 5 | 0 | 1 | $\frac{23}{2}$ | 1 | 0 | 0 | 6 | 1 | $\frac{40}{1}$ | 0 | 0 | $\frac{12}{2}$ | 0 |
| i \ j             | 1                                                                                   | 2                                                                                    | 3                                                                                     | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 5              | 6              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |               |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |
| 1                 | 1                                                                                   | 0                                                                                    | 0                                                                                     | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0              | $\frac{40}{1}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |               |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |
| 2                 | 0                                                                                   | 1                                                                                    | 0                                                                                     | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1              | $\frac{23}{2}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |               |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |
| 3                 | 0                                                                                   | 0                                                                                    | 0                                                                                     | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\frac{4}{2}$  | $\frac{11}{2}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |               |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |
| 4                 | 0                                                                                   | 0                                                                                    | 1                                                                                     | $\frac{4}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0              | $\frac{12}{2}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |               |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |
| 5                 | 0                                                                                   | 1                                                                                    | $\frac{23}{2}$                                                                        | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0              | 0              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |               |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |
| 6                 | 1                                                                                   | $\frac{40}{1}$                                                                       | 0                                                                                     | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\frac{12}{2}$ | 0              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |               |   |                |   |   |   |                |   |   |   |   |   |                |   |   |                |   |

Рисунок П2.8 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Ч»

| Наименование узла | Схема узла | Граф узла | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла |
|-------------------|------------|-----------|---------------------------|------------------------|
| К                 |            |           |                           |                        |

Рисунок П2.9 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «К»

| Наименование узла | Схема узла     | Граф узла     | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |                |                |                |               |                |               |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
|-------------------|----------------|---------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---|---|---|----|----|---|---|---------------|---------------|---|---|---|---|----------------|---------------|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---------------|---|---|---|---|----------------|---------------|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|----------------|---------------|---|---|----------------|---|
| 3                 |                |               |                           | <table><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{4}</math></td><td><math>\frac{1}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{12}</math></td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td><math>\frac{1}{4}</math></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{12}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{6}{2}</math></td><td>1</td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{6}{2}</math></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{12}</math></td><td><math>\frac{1}{2}</math></td></tr><tr><td>7</td><td><math>\frac{1}{12}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td><math>\frac{1}{2}</math></td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{12}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>11</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{12}</math></td><td><math>\frac{1}{2}</math></td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{1}{12}</math></td><td>0</td></tr></table> | 1             | 1              | 2              | 3              | 4             | 5              | 6             | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 1 | 1 | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{1}$ | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{12}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | 2 | $\frac{1}{4}$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{12}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{6}{2}$ | 1 | $\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{6}{2}$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{12}$ | $\frac{1}{2}$ | 7 | $\frac{1}{12}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | $\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $\frac{1}{2}$ | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{12}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{12}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 | 1 | $\frac{1}{12}$ | 0 |
| 1                 | 1              | 2             | 3                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 5             | 6              | 7              | 8              | 9             | 10             | 11            |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 1                 | 1              | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{1}$             | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0             | 0              | 1              | $\frac{1}{12}$ | $\frac{1}{2}$ | 0              | 0             |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 2                 | $\frac{1}{4}$  | 1             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0             | 0              | 0              | 1              | $\frac{1}{2}$ | 0              | 0             |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 3                 | 0              | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0             | 1              | $\frac{1}{12}$ | 0              | 0             | 0              | 0             |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 4                 | 0              | 0             | 0                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\frac{6}{2}$ | 1              | $\frac{1}{2}$  | 0              | 0             | 0              | 0             |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 5                 | 0              | 0             | 0                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\frac{6}{2}$ | 1              | 0              | 0              | 0             | 0              | 0             |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 6                 | 0              | 0             | 0                         | $\frac{1}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\frac{1}{2}$ | 1              | 0              | 0              | 1             | $\frac{1}{12}$ | $\frac{1}{2}$ |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 7                 | $\frac{1}{12}$ | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0             | 0              | 0              | 0              | 0             | 0              | 0             |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 8                 | $\frac{1}{2}$  | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0             | 0              | 0              | 0              | 0             | 0              | $\frac{1}{2}$ |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 9                 | 0              | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0             | 1              | $\frac{1}{12}$ | 0              | 0             | 0              | 0             |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 10                | 0              | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0             | 1              | $\frac{1}{2}$  | 0              | 0             | 0              | 0             |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |
| 11                | 0              | 0             | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1             | $\frac{1}{12}$ | $\frac{1}{2}$  | 0              | 1             | $\frac{1}{12}$ | 0             |   |   |   |    |    |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |               |   |   |   |   |                |               |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |               |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |                |               |   |   |                |   |

Рисунок П2.10 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «З»

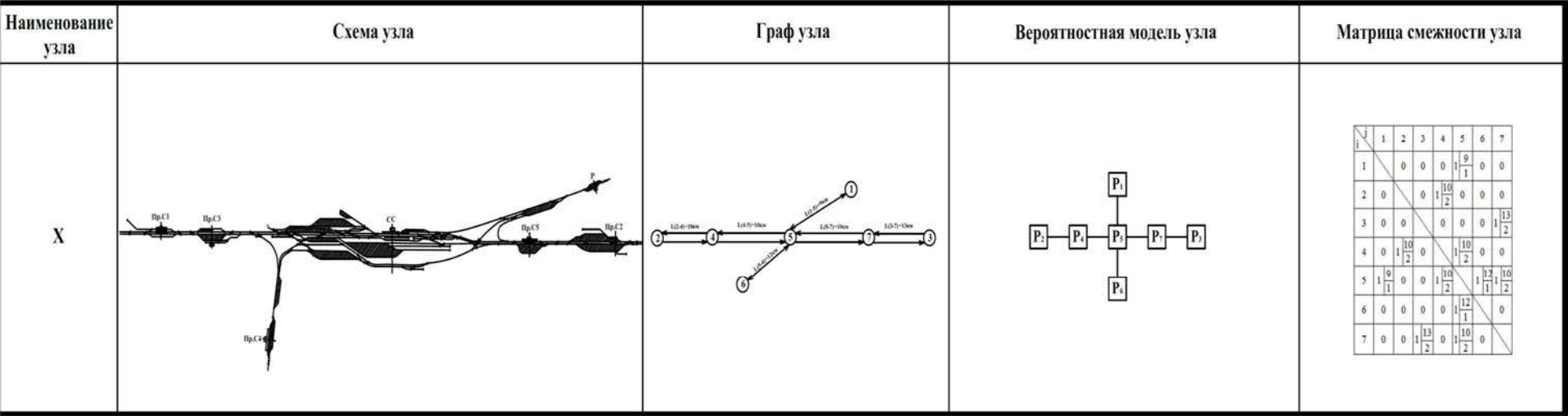


Рисунок П2.11 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Х»

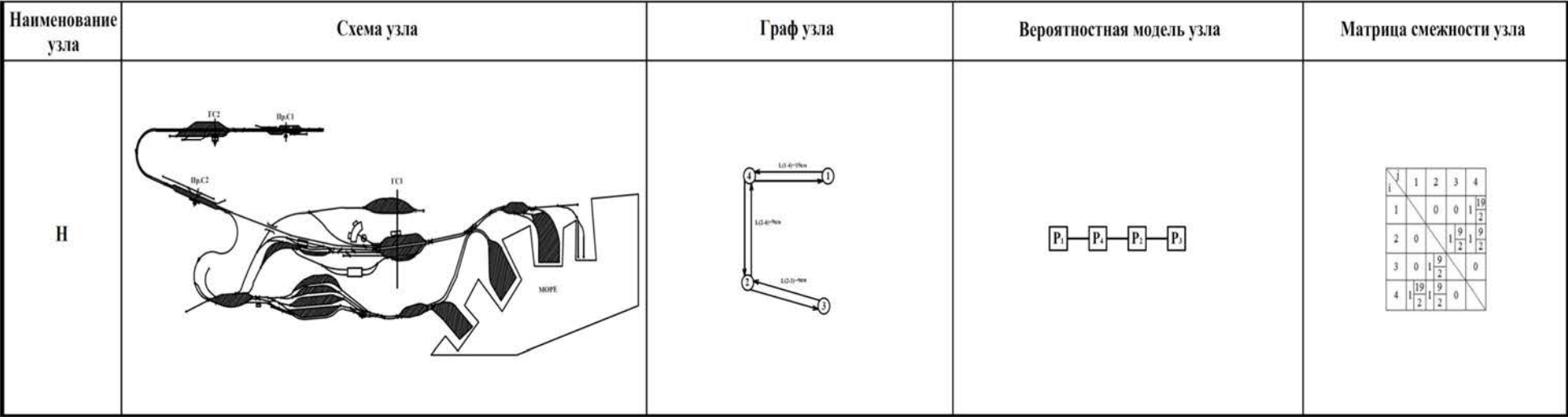


Рисунок П2.12 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Н»

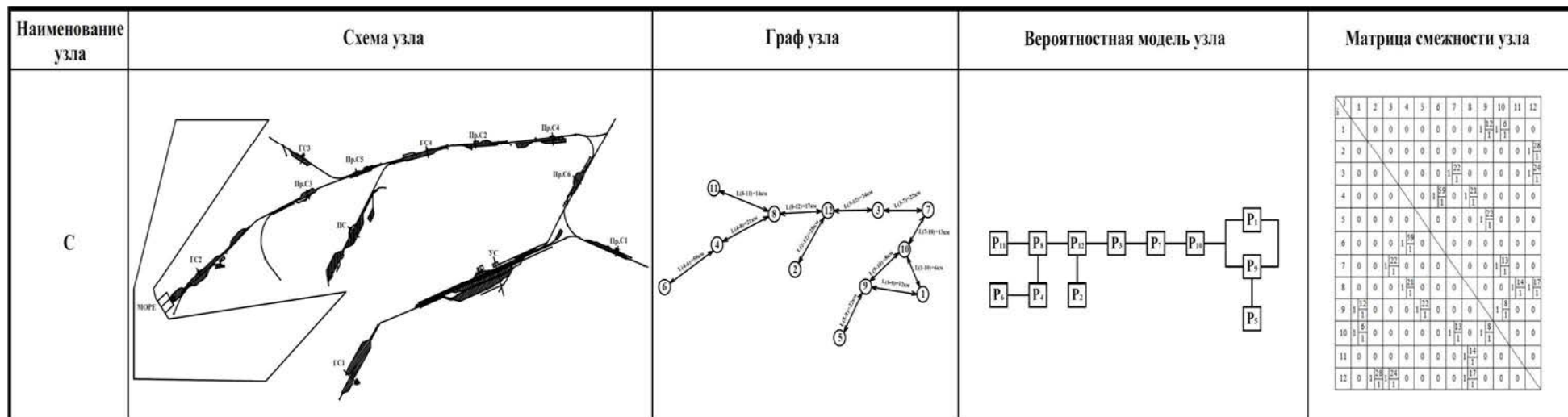


Рисунок П2.13 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «С»

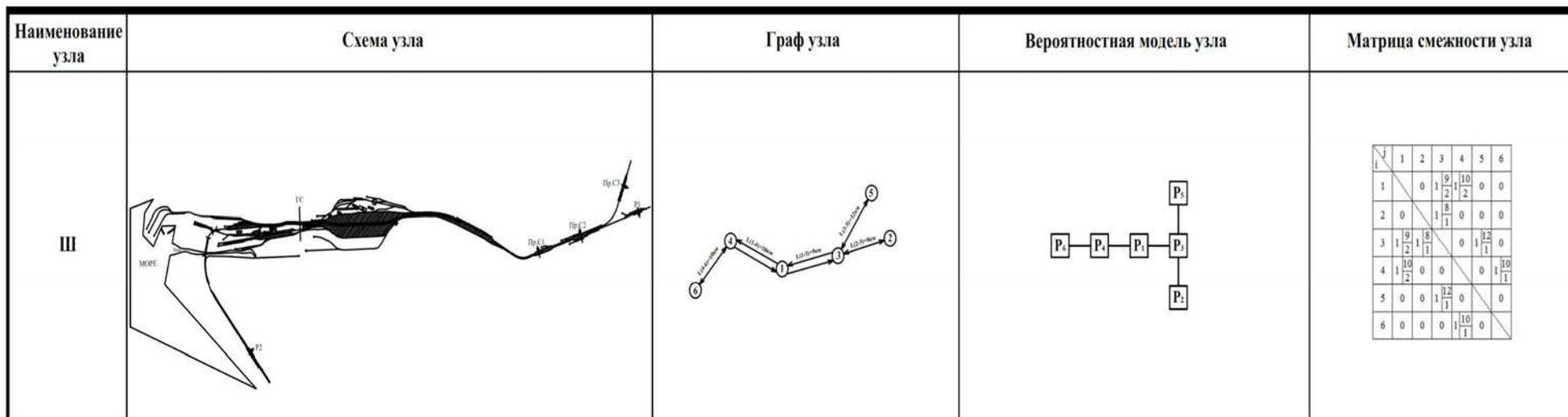


Рисунок П2.14 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Ш»

| Наименование узла | Схема узла | Граф узла | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
|-------------------|------------|-----------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|----|----|----|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|----|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|
| A                 |            |           |                           | <table><tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>24</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>10</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>11</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>12</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td><td>1</td><td>10</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>5</td><td>1</td><td>24</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>9</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>16</td><td>1</td><td>15</td><td>1</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>11</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>9</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>16</td><td>1</td><td>15</td><td>1</td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>15</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>10</td><td>0</td><td>1</td><td>11</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>15</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table> | 1 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 10 | 1 | 0 | 0 | 1 | 11 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 10 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16 | 1 | 15 | 1 | 7 | 0 | 1 | 11 | 0 | 0 | 1 | 9 | 1 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16 | 1 | 15 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 15 | 1 | 0 | 10 | 0 | 1 | 11 | 0 | 0 | 1 | 15 | 1 | 0 | 1 |
| 1                 | 1          | 2         | 3                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 5 | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 1                 | 1          | 0         | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1 | 24 | 0  | 0  | 0  | 0  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 2                 | 0          | 1         | 10                        | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0 | 0  | 1  | 11 | 0  | 1  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 3                 | 0          | 0         | 1                         | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 4                 | 0          | 1         | 10                        | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 5                 | 1          | 24        | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0 | 0  | 1  | 9  | 0  | 0  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 6                 | 0          | 0         | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0 | 1  | 16 | 1  | 15 | 1  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 7                 | 0          | 1         | 11                        | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0 | 1  | 9  | 1  | 0  | 0  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 8                 | 0          | 0         | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0 | 1  | 16 | 1  | 15 | 1  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 9                 | 0          | 0         | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0 | 0  | 1  | 15 | 1  | 0  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |
| 10                | 0          | 1         | 11                        | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0 | 1  | 15 | 1  | 0  | 1  |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |    |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |

Рисунок П2.15 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «А»

| Наименование узла | Схема узла | Граф узла | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла |
|-------------------|------------|-----------|---------------------------|------------------------|
| И                 |            |           |                           |                        |

Рисунок П2.16 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «И»

| Наименование узла | Схема узла | Граф узла       | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                |                |                |                |                |                |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
|-------------------|------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|---|---|---|----|---|---|-----------------|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------|----------------|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|----------------|---|---|---|---|---|---|----------------|----------------|----------------|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|
| E                 |            |                 |                           | <table><tr><th>i \ j</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th></tr><tr><th>1</th><td>1</td><td><math>1\frac{61}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{23}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>2</th><td>1</td><td><math>\frac{61}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{19}{2}</math></td></tr><tr><th>3</th><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{23}{2}</math></td></tr><tr><th>4</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{26}{1}</math></td></tr><tr><th>5</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{33}{1}</math></td><td>0</td></tr><tr><th>6</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{2}{1}</math></td><td><math>\frac{82}{1}</math></td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><th>7</th><td>1</td><td><math>\frac{23}{2}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{2}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>8</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{33}{1}</math></td><td><math>\frac{32}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>9</th><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{19}{2}</math></td><td><math>\frac{22}{2}</math></td><td><math>\frac{26}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>10</th><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td><math>\frac{33}{1}</math></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table> | i \ j          | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 1 | $1\frac{61}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{23}{2}$ | 0 | 0 | 2 | 1 | $\frac{61}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{19}{2}$ | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{23}{2}$ | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{26}{1}$ | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | $\frac{33}{1}$ | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{2}{1}$ | $\frac{82}{1}$ | 0 | 1 | 7 | 1 | $\frac{23}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{2}{1}$ | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{33}{1}$ | $\frac{32}{1}$ | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 1 | $\frac{19}{2}$ | $\frac{22}{2}$ | $\frac{26}{1}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | $\frac{33}{1}$ | 0 | 0 | 0 |
| i \ j             | 1          | 2               | 3                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              | 10             |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 1                 | 1          | $1\frac{61}{2}$ | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0              | 0              | 1              | $\frac{23}{2}$ | 0              | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 2                 | 1          | $\frac{61}{2}$  | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | $\frac{19}{2}$ |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 3                 | 0          | 0               | 1                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | $\frac{23}{2}$ |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 4                 | 0          | 0               | 0                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0              | 0              | 0              | 0              | 1              | $\frac{26}{1}$ |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 5                 | 0          | 0               | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1              | 0              | 0              | 1              | $\frac{33}{1}$ | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 6                 | 0          | 0               | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0              | 1              | $\frac{2}{1}$  | $\frac{82}{1}$ | 0              | 1              |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 7                 | 1          | $\frac{23}{2}$  | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0              | 1              | $\frac{2}{1}$  | 0              | 0              | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 8                 | 0          | 0               | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1              | $\frac{33}{1}$ | $\frac{32}{1}$ | 0              | 0              | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 9                 | 0          | 1               | $\frac{19}{2}$            | $\frac{22}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $\frac{26}{1}$ | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |
| 10                | 0          | 0               | 0                         | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0              | 1              | $\frac{33}{1}$ | 0              | 0              | 0              |   |   |   |   |    |   |   |                 |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |               |                |   |   |   |   |                |   |   |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |   |   |   |   |   |   |                |                |                |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |                |   |   |   |

Рисунок П2.17 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Е»

| Наименование узла | Схема узла | Граф узла     | Вероятностная модель узла | Матрица смежности узла                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       |   |   |   |   |   |               |               |   |   |               |   |   |   |               |   |
|-------------------|------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|---|---|---|---|---------------|---------------|---|---|---------------|---|---|---|---------------|---|
| В                 |            |               |                           | <table><tr><th>i \ j</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr><tr><th>1</th><td>1</td><td><math>\frac{4}{2}</math></td><td><math>\frac{7}{2}</math></td></tr><tr><th>2</th><td>1</td><td><math>\frac{4}{2}</math></td><td>0</td></tr><tr><th>3</th><td>1</td><td><math>\frac{7}{2}</math></td><td>0</td></tr></table> | i \ j | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | $\frac{4}{2}$ | $\frac{7}{2}$ | 2 | 1 | $\frac{4}{2}$ | 0 | 3 | 1 | $\frac{7}{2}$ | 0 |
| i \ j             | 1          | 2             | 3                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |   |   |   |   |   |               |               |   |   |               |   |   |   |               |   |
| 1                 | 1          | $\frac{4}{2}$ | $\frac{7}{2}$             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |   |   |   |   |   |               |               |   |   |               |   |   |   |               |   |
| 2                 | 1          | $\frac{4}{2}$ | 0                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |   |   |   |   |   |               |               |   |   |               |   |   |   |               |   |
| 3                 | 1          | $\frac{7}{2}$ | 0                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |   |   |   |   |   |               |               |   |   |               |   |   |   |               |   |

Рисунок П2.18 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «В»

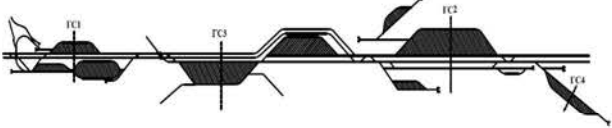
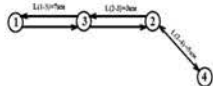
| Наименование узла | Схема узла                                                                        | Граф узла                                                                           | Вероятностная модель узла                                                           | Матрица смежности узла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |   |   |   |   |   |  |  |     |   |   |   |  |     |     |   |     |     |  |   |   |   |     |     |  |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---|---|---|---|---|--|--|-----|---|---|---|--|-----|-----|---|-----|-----|--|---|---|---|-----|-----|--|
| Ц                 |  |  |  | <table border="1"> <tr> <td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr> <td>1</td><td></td><td></td><td>7/2</td><td>0</td></tr> <tr> <td>2</td><td>0</td><td></td><td>3/2</td><td>5/1</td></tr> <tr> <td>3</td><td>7/2</td><td>3/2</td><td></td><td>0</td></tr> <tr> <td>4</td><td>0</td><td>1/2</td><td>1/1</td><td></td></tr> </table> |  | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 |  |  | 7/2 | 0 | 2 | 0 |  | 3/2 | 5/1 | 3 | 7/2 | 3/2 |  | 0 | 4 | 0 | 1/2 | 1/1 |  |
|                   | 1                                                                                 | 2                                                                                   | 3                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |   |   |   |   |   |  |  |     |   |   |   |  |     |     |   |     |     |  |   |   |   |     |     |  |
| 1                 |                                                                                   |                                                                                     | 7/2                                                                                 | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |   |   |   |   |   |  |  |     |   |   |   |  |     |     |   |     |     |  |   |   |   |     |     |  |
| 2                 | 0                                                                                 |                                                                                     | 3/2                                                                                 | 5/1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |   |   |   |   |   |  |  |     |   |   |   |  |     |     |   |     |     |  |   |   |   |     |     |  |
| 3                 | 7/2                                                                               | 3/2                                                                                 |                                                                                     | 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |   |   |   |   |   |  |  |     |   |   |   |  |     |     |   |     |     |  |   |   |   |     |     |  |
| 4                 | 0                                                                                 | 1/2                                                                                 | 1/1                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |   |   |   |   |   |  |  |     |   |   |   |  |     |     |   |     |     |  |   |   |   |     |     |  |

Рисунок П2.19 – Схема, граф, вероятностная модель и матрица смежности железнодорожного узла «Ц»

# Акты об использовании результатов диссертационного исследования



**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Ростовский государственный университет путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВО РГУПС)**

пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, г. Ростов-на-Дону, 344038  
 Тел. (863) 245-06-13, ж.д. 5-88-01, Факс (863) 255-32-83, 245-06-13, E-mail: up\_del@dep.rgups.ru  
 ОКПО 1116006, ОГРН 1026103709499, ИНН/КПП 6165009334/616501001



Проректор по научной работе

А.Н. Гуда

2016 г.

## АКТ

об использовании диссертационного исследования

Хана Владимира Васильевича «Развитие методов определения рациональных структур и уровней организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов» при выполнении научно-исследовательских работ

Мы, нижеподписавшиеся, директор научно-исследовательской части, к.т.н., доцент Носков В.Н., заместитель директора научно-исследовательской части, к.т.н., доцент Яицков И.А., заведующий кафедрой «Станции и грузовая работа», д.т.н., доцент Числов О.Н. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Хана Владимира Васильевича использовались при выполнении научно-исследовательских работ по темам:

– «Создание альбома схем железнодорожных узлов Минераловодского, Гудермесского, Махачкалинского и Прохладнинского регионов СКЖД» (договор № 485, 2012 г.) по заказу Северо-Кавказской Дирекции управления движением – филиала Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД»;

– «Изготовление плакатов со схемами станций Краснодарского, Тихорецкого, Кавказского, Крымского, Новороссийского железнодорожных узлов СКЖД для запасных пунктов управления» (договор № 486, 2012 г.) по заказу Северо-Кавказской Дирекции управления движением – филиала Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД»;

– «Изготовление схем припортовых станций СКЖД для запасных пунктов управления на электронных носителях» (договор № 577, 2012 г.) по заказу Северо-Кавказской Дирекции управления движением – филиала Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД»;

– «Корректировка альбома схем железнодорожных узлов Северо-Кавказской железной дороги с учетом проведенных работ по их реконструкции и развитию» (договор № 786, 2014 г.) по заказу Северо-Кавказской Дирекции

управления движением – филиала Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД».

Авторский вклад Хана Владимира Васильевича в работу заключался в создании для диспетчерского аппарата ДЦУП схем железнодорожных узлов, их корректировке и оценке узловой структуры на основе динамического коэффициента балльного рейтинга с использованием программного комплекса.

Директор НИЧ  
ФГБОУ ВО РГУПС  
к.т.н., доц.



В.Н. Носков

Заместитель директора НИЧ  
ФГБОУ ВО РГУПС  
к.т.н., доц.



И.А. Яицков

Заведующий кафедрой СГР  
ФГБОУ ВО РГУПС  
д.т.н., доц.



О.Н. Числов



**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Ростовский государственный университет**  
**путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВО РГУПС)**

пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, г. Ростов-на-Дону, 344038  
Тел. (863) 2450-613, ж.д. 5-88-01, Факс (863) 2553-283, 2450-613, E-mail: up\_del@dep.rgups.ru  
ОКПО 01116006, ОГРН 1026103709499, ИНН/КПП 6165009334/616501001



Проректор по учебной работе –  
начальник УМУ

А.В. Охотников

2016 г.

об использовании диссертационного исследования

Хана Владимира Васильевича «Развитие методов определения рациональных структур и  
уровней организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов» в  
учебном процессе ФГБОУ ВО РГУПС

Мы, нижеподписавшиеся, декан факультета «Управление процессами перевозок», к.т.н., доцент Колобов И.А., начальник отдела докторантуры и аспирантуры, к.т.н., доцент Костоков А.В. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Хана Владимира Васильевича используются в учебном процессе по специальности 23.05.04 – «Эксплуатация железных дорог» при разработке учебно-методических комплексов для студентов по дисциплине «Железнодорожные станции и узлы (часть I, часть II, часть III)», а также в НИР студентов и дипломном проектировании для студентов очной и заочной формы обучения.

Были внедрены следующие результаты диссертации:

- система критериев оценки организации транспортной работы узла;
- параметры устойчивости схемы узла;
- модель оценки узловой структуры на основе динамического коэффициента балльного рейтинга;
- система классификации узловых структур на основе пяти классов: малые, средние, крупные (2-й тип), крупные (1-й тип), крупнейшие узлы;
- метод оценки эффективности узловой структуры с разработкой направлений схемного и транспортно-технологического развития.

Использование данных результатов в учебном процессе позволяет повысить качество образования за счет актуализации аспектов теории и практики проектирования железнодорожных станций и узлов, внедрения инновационных методов оценки транспортно-технологических процессов и классификации узловых структур, а также за счет формирования системного мышления в проектировании железнодорожной инфраструктуры.

Результаты исследования были использованы при подготовке научно-исследовательских отчетов по темам:

- «Создание альбома схем железнодорожных узлов Минераловодского, Гудермесского, Махачкалинского и Прохладнинского регионов СКЖД». Заказчик: Северо-Кавказская Дирекция управления движением – филиал Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД», договор № 485, 2012 г.

– «Изготовление плакатов со схемами станций Краснодарского, Тихорецкого, Кавказского, Крымского, Новороссийского железнодорожных узлов СКЖД для запасных пунктов управления». Заказчик: Северо-Кавказская Дирекция управления движением – филиал Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД», договор № 486, 2012 г.

– «Изготовление схем припортовых станций СКЖД для запасных пунктов управления на электронных носителях». Заказчик: Северо-Кавказская Дирекция управления движением – филиал Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД», договор № 577, 2012 г.

– «Корректировка альбома схем железнодорожных узлов Северо-Кавказской железной дороги с учетом проведенных работ по их реконструкции и развитию для начальников штабов запасных пунктов управления». Заказчик: Северо-Кавказская дирекция управления движением – структурное подразделение Центральной дирекции управления движением – филиал ОАО «РЖД», договор № 786 от 29.08.2014 г.

Основные положения и выводы диссертационного исследования были апробированы в рамках методологических семинаров кафедры и нашли свое отражение в следующих опубликованных работах:

1. Хан, В.В. Метод оценки уровня организации и пропускной способности инфраструктуры железнодорожных узлов / О.Н. Числов, В.В. Хан // Известия Петербургского университета путей сообщения. – №4 (37). – 2013. – С. 68-78.

2. Хан, В.В. Научно-методический комплекс классификации железнодорожных узлов (на примере Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД») [Электронный ресурс] / О.Н. Числов, В.В. Хан // Современные проблемы науки и образования. – №6. – 2014. (дата публикации 19.01.2015) - URL: <http://www.science-education.ru/120-16956> (дата обращения 15.09.2015).

3. Хан, В.В. Графоаналитическая оценка схем и транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов / В.В. Хан // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015 – №4 (60). – С. 84–91.

4. Хан, В.В. Методы исследования этапности развития железнодорожных узлов (на примере Северо-Кавказского экономического региона) / В.В. Хан // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. Ростов-на-Дону: РГУПС. – №2 (27). – 2014. – С. 126-134.

5. Хан, В.В. Разработка программного научно-методического комплекса оценки инфраструктуры и классификации железнодорожных узлов / О.Н. Числов, В.В. Хан // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. Ростов-на-Дону: РГУПС. – 2015. – №4 (33). – С. 143–151.

6. Проектирование грузовых станций: учебное пособие / О.Н. Числов, Д.С. Безусов, В.М. Задорожний, В.В. Хан; ФГБОУ ВО РГУПС. – Изд. второе, перераб. и доп. – Ростов н/Д, 2014. – 68 с.

Декан факультета «УПП»  
ФГБОУ ВО РГУПС,  
к.т.н., доцент

Начальник отдела «Д и А»  
ФГБОУ ВО РГУПС,  
к.т.н., доцент

И.А. Колобов

А.В. Костюков



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»  
**СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ  
ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА**

Театральная пл. 4,  
г. Ростов-на-Дону, 344019  
Тел.: (863) 259-50-09, факс: (863) 259-48-48  
E-mail: n@skzd.rzd.ru, www.skzd.rzd.ru

Проректору ФГБОУ ВО РГУПС  
по научной работе  
А.Н.Гуда

« 17 » января 2017 г. № 502/СКДВ

На № 23/12773 от 30.12.2016 г.

#### Заключение

о возможности использования результатов кандидатской диссертационной работы Хана Владимира Васильевича на тему «Развитие методов определения рациональных структур и организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов»

В настоящее время в ходе значительного изменения грузопотоков возрастает актуальность вопроса по оценке потребного развития железнодорожной инфраструктуры на основных направлениях и достаточности существующей, в т.ч. при изменении технологии обслуживания участков. В частности в настоящее время ведется работа по определению участков железной дороги с малоинтенсивным объемом движения и достаточности на них технических обустройств.

Рассмотрение выполненной кандидатской диссертационной работы на тему «Развитие методов определения рациональных структур и организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов» показало, что ее результаты частично могут быть использованы для оценки отдельных мероприятий при условии учета предлагаемых решений в нормативной документации.

Кроме того, часть результатов выполненной работы были использованы при разработке:

- альбома схем железнодорожных узлов Северо-Кавказской железной дороги на электронных носителях;
- метода исследования устойчивости объектов транспортной инфраструктуры объединенного Ростовского и Батайского железнодорожного узла;
- метода оценки железнодорожных узлов и направлений по развитию их инфраструктуры.

Применение указанных исследований и разработок может позволить повысить качество проектных работ, сократить затраты на проведение оценки состояния узловой инфраструктуры в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов.

Заместитель главного инженера  
железной дороги



В.П.Королев