

3 Ковалев, М. М. Транспортная логистика в Беларуси: состояние, перспективы : [монография] / М. М. Ковалев, А. А. Королева, А. А. Дутина. – Минск : Изд. центр БГУ, 2017. – 327 с.

4 Классификация различных типов потоков и правовых связей в логистических системах доставки грузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.lscm.ru/index.php/ru/po-godam/item/527>. – Дата доступа : 06.06.2022.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

■ Пильгун Татьяна Владимировна, г. Минск, Белорусский национальный технический университет, канд. техн. наук, доцент кафедры «Экономика и логистика», eut_atf@bntu.by.

УДК 656.073.003.13

УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОГРУЗКИ, УСКОРЕНИЯ ОБОРОТА ВАГОНА И СТОИМОСТНОЙ ОЦЕНКИ ВАГОНО-ЧАСА ПО РОДАМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

П. Н. ПУЛАТОВ

ГУП «Таджикская железная дорога», г. Душанбе

Современные геополитические и экономические условия функционирования железнодорожного транспорта большинства государств постсоветского пространства таковы, что крайне сложно обеспечить требуемое качество транспортного обслуживания и безубыточность работы при высоких расходах на содержание железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава. Динамика перевозочной работы ГУП «Таджикская железная дорога» (ТЖД) (таблица 1) показывает, что большинство участков относится к категории малоинтенсивных [1].

Методики обоснования мероприятий по повышению эффективности перевозок на таких линиях базируются на классической работе отделения эксплуатации железных дорог ВНИИЖТ (ЦНИИ НКПС СССР) [2]. Как показывает анализ, существующие методики требуют развития. Для достижения цели настоящего исследования необходимо рассматривать управление эксплуатационной работой малоинтенсивных железнодорожных линий в увязке с технологией перевозок в международном сообщении. Топология сети ТЖД содержит как участки, обслуживающие собственные перевозки Республики Таджикистан и ограниченные межгосударственными стыковыми пунктами (МГСП) Кудукли и Амузанг (последний закрыт с 2011 года), так и участки, обеспечивающие пропуск транзитных транспортных потоков в сообщении со станциями двух сопредельных государств – Узбекистана и Киргизии, ограниченные МГСП Бекабад и Истиклол.

Таблица 1 – Динамика показателей работы ГУП «Гаджикская железная дорога»

Год	Эксплуатационная длина, км	Грузооборот, млн т·км·нетто	Пассажиروоборот, млн пас·км	Обмен по МГСП, пар поездов
1995	470	2114,6	123,8	24221
1996	470	1719,4	84,9	19695
1997	470	1383,9	129,8	15852
1998	470	1458,3	121,3	16704
1999	470	1281,5	61,2	14679
2000	470	1326,2	73,0	15191
2001	602	1250,0	32,6	14318
2002	602	1086,2	41,6	12442
2003	602	1087,0	49,7	12451
2004	602	1117,5	50,0	12800
2005	602	1040,1	46,1	11913
2006	602	1220,1	49,6	13975
2007	602	1274,4	53,0	14597
2008	602	1281,5	57,0	14679
2009	602	1282,1	45,3	14686
2010	602	808,4	32,8	9334
2011	602	702,9	31,5	7945
2012	602	554,9	24,0	7241
2013	602	404,1	20,4	6130
2014	602	391,0	17,5	5922
2015	602	316,9	15,9	4841
2016	642,7	228,3	18,4	3854
2017	642,7	165,1	27,9	3175

Кроме того, решение рассматриваемой технико-экономической задачи, как и в исследовании [3], влияет на расходы и доходы самостоятельных участников транспортно-логистических цепей в грузовых и в пассажирских перевозках. С учетом работ [3, 4] выполнен анализ структуры взаимодействия участников перевозочного процесса ТЖД (рисунок 1) и установлена необходимость решения исследуемой задачи на основе синтеза задач самоуправления (в терминах работы [5]) – рациональной внутренней технологии эксплуатационной работы ТЖД и задач координации – технологического взаимодействия с железнодорожными администрациями (ЖА) других государств.

Постановка задачи. Полигон железнодорожной сети описывается связным графом $G(X, Y)$, который состоит из $x = 1, \dots, X$ поездобразующих (технических, грузовых, пассажирских, пограничных) железнодорожных станций, соединенных и $y = 1 \dots Y$ участками, принадлежащих $z = 1 \dots Z$ ЖА. Задача решается на годовом периоде действия графика движения и плана формирования поездов, состоящего из внутригодовых календарных

периодов $w = 1 \dots W$ длительностью τ_w . Сроки и длительность календарных периодов определяются сезонными изменениями структуры и объемов грузовых и пассажирских перевозок, а также могут учитывать закрытие или снижение мощности объектов железнодорожной инфраструктуры при проведении ремонтных и строительных работ.



Рисунок 1 – Структура взаимодействия участников перевозочного процесса ТЖД

На графе G задаются грузовые и порожние вагонопотоки каждого расчетного периода $u(N, i_o, i_n, j_{гр}, j_{рпс}, j_{ппс}, w)$, где N – мощность потока, вагонов/сут; i_o – станция отправления, i_n – станция назначения, $j_{гр}$ – род груза, $j_{рпс}$ – род подвижного состава, $j_{ппс}$ – принадлежность подвижного состава; корреспонденции пассажирских поездов в дальнем следовании и пригородном сообщении $v(i_o, T_o, i_n, T_n, j_{кп}, j_{псл}, w)$, где T_o, T_n – время отправления с начальной станции и прибытия на конечную станцию, $j_{кп}$ – категория

пассажирского поезда, $J_{\text{пл}}$ – периодичность следования поезда в течение календарного периода w .

Технико-экономические характеристики поездообразующих станций: $t_{x,\xi}$ – технологическое время, ч, нахождения на станции x вагонов заданных технологических категорий ξ (транзитных без переработки со сменой и без смены локомотива, транзитных с переработкой, местных немаршрутизированных, маршрутизированных по отправлению, маршрутизированных по прибытию); $E_{x,\xi}$ – удельные прямые производственные расходы, приходящиеся на один вагон заданных технологических категорий ξ на станции x ; $B_{x,\xi}$ – технически допустимые размеры вагонопотоков заданных технологических категорий ξ на станции x , вагонов/сут.

При этом $t_{x,\xi}$, $E_{x,\xi}$, $B_{x,\xi}$, $t_{y,\xi}$, $E_{y,\xi}$, $B_{y,\xi}$ являются вектор-функциями от вагонопотоков, корреспонденций пассажирских поездов и представленных ниже задач самоуправления и координации.

Технико-экономические характеристики участков представлены аналогичными вектор-функциями, характеризующими технологическое время $t_{y,\xi}$, удельные прямые производственные расходы $E_{y,\xi}$, технически допустимые размеры вагонопотоков $B_{y,\xi}$ на участке y .

Путевое развитие и техническое оснащение инфраструктуры, наибольшие доступные парки тягового и нетягового подвижного состава в рамках исследуемой задачи являются заданными, т. е. инвестиции в инфраструктуру и подвижной состав не предусматриваются.

Целевая функция предусматривает максимизацию среднесуточного финансового результата:

$$F = \sum_{w=1}^W [D_w - (R_w^{(1)} + R_w^{(2)} + R_w^{(3)}) \pm (R_w^{(4)} + R_w^{(5)})] \tau_w \rightarrow \max, \quad (1)$$

где D_w – изменяемая часть среднесуточных доходов от перевозок и услуг в календарном периоде w ; $R_w^{(1)}$, $R_w^{(2)}$, $R_w^{(3)}$ – среднесуточные операционные расходы в календарном периоде w , связанные соответственно с мощностью объекта инфраструктуры, с простоями и терминальной обработкой транспортных потоков, с продвижением вагонопотоков по участкам; $R_w^{(4)}$, $R_w^{(5)}$ – среднесуточные взаимные платежи участников перевозочного процесса в календарном периоде w , связанные соответственно с потоками поездов и вагонов, с ресурсами инфраструктуры.

Целевая функция (1) записана в общем виде. Для отдельных участников перевозочного процесса (ЖА, перевозчиков, операторов подвижного состава) имеют место свои составляющие целевой функции (1).

Управляемые переменные. В общем виде управляемые переменные характеризуют:

1) распределение поездопотоков и сортировочной работы (назначения грузовых поездов; прикрепление вагонопотоков к назначениям грузовых поездов; пути следования грузовых поездов по железнодорожной сети; нормы веса и длины грузовых поездов);

2) технологию тягового обслуживания грузового и пассажирского движения;

3) технологию станционной работы.

При этом для задачи координации и задачи самоуправления имеют место свои классы управляемых переменных (рисунок 2).

Графиковые размеры передачи грузовых поездов по каждому МГСП и размеры движения по участкам железной дороги характеризуются количеством ниток грузовых поездов в графике движения $n_{гг}$, в том числе твердых расписаний ежедневного обращения $n_{гв}$, и сборных поездов $n_{сб}$.

Перечни назначений поездов и поездных групп плана формирования во внутридорожном и в международном сообщении φ ($i_{\varphi}, i_p, i_{fg}, i_{rg}, j_{gp}, w$), где i_{φ}, i_{fg} – станции формирования соответственно поезда и поездной группы, i_p, i_{rg} – станции назначения (расформирования) соответственно поезда и поездной группы, j_{gp} – род поезда. При этом переменная $\zeta_{\varphi} = 1$, если назначение φ входит в план формирования, иначе $\zeta_{\varphi} = 0$. Переменная $\psi_{u\varphi} = 1$, если вагонопоток u прикреплен к назначению φ , иначе $\psi_{u\varphi} = 0$. В соответствии с п. 7.2 «Порядок организации вагонопотоков» [6] право определения станции формирования нового назначения в международном сообщении предоставляется ЖА формирования поезда.

Технологию маршрутных перевозок характеризуют перечни назначений маршрутов во внутридорожном и в международном сообщении η ($i_{\eta}, i_p, j_{gr}, j_{rпс}, j_{лпс}, w$) и переменные $\psi_{u\eta}$, равные доле вагонопотока u , включаемой в маршрутное назначение η , для маршрутов как прямых на одну станцию назначения вагонов, так и для маршрутов назначением на станцию расформирования.

Нормы массы $Q_{ор}$ и длины $m_{усл}$ (в условных вагонах) устанавливаются для каждого маршрутного назначения ($Q_{ор. \eta}^M; m_{усл. \eta}^M$) и унифицированы для направлений пропуска сквозных поездов из немаршрутизированных вагонопотоков ($Q_{ор}^{уH}; m_{усл}^{уH}$).

Пути следования назначений поездов плана формирования S_{φ} и маршрутных назначений S_{η} характеризуют соответствующие перечни попутных технических и пограничных станций, проходимых без переработки, $\{i_{тр. \varphi}\}$ и $\{i_{тр. \eta}\}$.

Ограничения. Решение задачи должно вписываться в ограничения четырех классов: неделимости транспортных потоков; инфраструктурные; ресурсные; логистические.

1 Ограничения неделимости транспортных потоков:

1) маршрут следования каждого вагонопотока по сети назначений поездов от станции (узла) зарождения до станции погашения должен быть единственным, а вагонопоток – неразрывным [7]:

$$\sum_{\varphi} \Psi_{i\varphi} = 1 \forall i; \tag{2}$$

2) условие «древовидности следования вагонопотоков» [7].

2 Инфраструктурные ограничения:

1) по пропускной способности участков, с учетом допускаемого уровня ее использования и режима работы участков

$$n_{гр.у} \leq \gamma_{гр.у} \beta_{реж.у} n_{н.гр.у}; \tag{3}$$

2) по допустимому числу назначений поездов, формируемых на станциях

$$k_x \leq k_{т.х}; \tag{4}$$

3) по технически допустимым размерам переработки вагонов на станциях (с учетом режима работы станции по поездной и грузовой работе)

$$N_{пер.х} \leq \beta_{реж.х} N_{т.х}; \tag{5}$$

2.4) по технически допустимым размерам потоков транзитных поездов на станциях

$$n_{пер.х} \leq \beta_{реж.х} n_{т.гр.х}; \tag{6}$$

2.5) по непревышению унифицированными и параллельными нормами массы и длины грузовых поездов критических значений для каждого участка

$$Q_{бр}^{ун} \leq Q_{бр.у}^{крит}; \tag{7}$$

$$m_{бр}^{ун} \leq m_{бр.у}^{крит}; \tag{8}$$

$$Q_{бр.η}^M \leq Q_{бр.у}^{крит}; \tag{9}$$

$$m_{бр.η}^M \leq m_{бр.у}^{крит}; \tag{10}$$

где $n_{гр.у}$ – расчетные размеры грузового движения на участке $у$, пар поездов/сут; $n_{н.гр.у}$ – пропускная способность участка $у$ для грузового движения, пар поездов/сут; $\gamma_{гр.у}$ – допустимый уровень использования пропускной способности участка $у$; $k_x, k_{т.х}$ – число назначений поездов формируемых и технически допустимое для данных размеров переработки на станции $х$; $N_{пер.х}, N_{т.х}$ – вагонопотоки, соответственно перерабатываемый на станции $х$ и технически допустимый для данного числа формируемых назначений, вагонов/сут; $\beta_{реж.у}, \beta_{реж.х}$ – коэффициенты, учитывающие некруглосуточный режим

работы соответственно участка u и станции x ; $n_{\text{тр. } x}$, $n_{\text{т.тр. } x}$ – поток транзитных поездов без переработки, проследующих станцию x и технически допустимый для станции x соответственно, поездов/сут; $Q_{\text{бр. } u}^{\text{крит}}$, $m_{\text{бр. } u}^{\text{крит}}$ – критические нормы массы (т) и длины (условных вагонов) для грузовых поездов на участке u в данном направлении движения соответственно.

3 Ресурсные ограничения:

1) по парку поездных локомотивов грузового движения:

$$M_{\text{потр. } g} \leq M_{\text{max } g}; \quad (11)$$

2) по парку маневровых локомотивов:

$$M_{\text{ман}}^{\text{потр}} \leq M_{\text{ман}}^{\text{max}}; \quad (12)$$

3) по паркам грузовых вагонов:

$$P_{j_{\text{рпс}}, j_{\text{пмс}}}^{\text{потр}} \leq P_{j_{\text{рпс}}, j_{\text{пмс}}}^{\text{max}}; \quad (13)$$

где $M_{\text{потр. } g}$, $M_{\text{max } g}$ – потребный и максимально допустимый парк поездных локомотивов g -й специализации (участка обращения); $M_{\text{ман}}^{\text{потр}}$, $M_{\text{ман}}^{\text{max}}$ – потребный и максимально допустимый парк маневровых локомотивов; $P_{j_{\text{рпс}}, j_{\text{пмс}}}^{\text{потр}}$, $P_{j_{\text{рпс}}, j_{\text{пмс}}}^{\text{max}}$ – потребный и максимально допустимый рабочий парк вагонов рода подвижного состава $j_{\text{рпс}}$ принадлежности $j_{\text{пмс}}$.

4 Логистические ограничения:

1) по сроку доставки грузов:

$$D_{ur}^{\text{техн}} \leq D_{ur}^{\text{ю}}; \quad (14)$$

2) по минимальной мощности назначений формируемых поездов, обеспечивающих выполнение сроков доставки грузов;

$$N_{\phi} \geq N_{\text{min } \phi}, \quad (15)$$

где $D_{ur}^{\text{техн}}$ – технологический [8] срок доставки грузов по вагонопотоку u для вида сообщения r , сут; $D_{ur}^{\text{ю}}$ – юридический (нормативный или договорной) срок доставки грузов по вагонопотоку u для вида сообщения r , сут; N_{ϕ} , $N_{\text{min } \phi}$ – мощность назначения ϕ (соответственно расчетная и минимально допустимая по условию своевременной доставки грузов), ваг./сут;

3) по условиям перевозки грузов по родам (например, опасные грузы, а также любые восьмиосные вагоны перевозятся через транзитный участок Бекабад – Истиклол ТЖД, а остальной транзитный грузопоток следует по новой линии Ангрэн – Пап Узбекской железной дороги).

Исследование параметров решения.

Информационная структура исследуемых задач такова, что управляемые переменные задачи координации должны быть определены на годовом периоде действия международного плана формирования грузовых поездов и графика движения, а управляемые переменные задачи самоуправления могут изменяться по календарным периодам w .

С учетом специфики задач самоуправления и координации должны быть модернизированы расчетные зависимости [7, 9] для вычисления целевой функции (1) и ограничений (2–15).

Расходы $R_w^{(1)}$ [см. целевую функцию (1)] определяются потребной и наличной пропускной способностью и их соотношением по элементам инфраструктуры, в зависимости от значений управляемых переменных задачи самоуправления, относящихся к классам 7, 8 и 9 (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Структура управляемых переменных исследуемых задач

Расходы $R_w^{(2)}$ определяются временем нахождения вагонов и локомотивов, энергоресурсами на расформирование и формирование поездов, сцепку, отцепку, подачу и уборку вагонов. Сюда включаются составляющие, связанные с накоплением составов по назначениям; переработкой транзитных вагонов на попутных технических станциях, операциями и с транзитными поездами без переработки на попутных технических станциях; операциями с поездами на МГСП; операциями на станциях предъявления к перевозке груженых и порожних маршрутов при маршрутном и немаршрутном отправлении; операциями на станциях назначения груженых и порожних маршрутов при маршрутном и немаршрутном прибытии.

Расходы $R_w^{(3)}$, зависящие от размеров движения, связаны с парками и пробегами подвижного состава, износом верхнего строения пути, работой локомотивных бригад, расходами энергоресурсов на тягу поездов и пробеги одиночных локомотивов.

Платежи $R_w^{(4)}$ включают в себя плату за пользование грузовыми вагонами чужой принадлежности либо доходы от предоставления вагонов другим пользователям; выплаты за невыполнение сроков доставки грузов или порожних вагонов чужой принадлежности; за простои поездов по неприятию со стороны соседних железных дорог; за невыполнение плана перевозок, т. е. за непредоставление вагонов под погрузку.

Платежи $R_w^{(5)}$ связаны со сверхнормативным занятием инфраструктуры вагонами (поездами), прибывшими в адрес одного или нескольких грузополучателей.

Ряд компонентов целевой функции и ограничений задачи (1–15) нелинейны и целочисленны. Это предопределяет выбор методов решения.

Методы решения. Методика проведения исследования операций на стадии разработки вычислительного метода предусматривает выбор одного из двух принципиальных подходов к решению [10]:

1) найти точное решение задачи в упрощенной постановке, позволяющей применить разработанные регулярные методы с математически доказанной оптимальностью;

2) найти приближенное решение точно сформулированной задачи.

В рамках второго из указанных подходов проведен анализ информационной структуры и размерности рассматриваемых задач, который выявил следующее:

1) условия работы ТЖД и полигона ее взаимодействия с соседними ЖА таковы, что задача координации и задача самоуправления в связи с их ограниченной размерностью могут быть решены путем сканирования набора управляемых переменных с отсечением вариантов, не соответствующих ограничениям задач.

2) топология полигона ТЖД и полигонов ее взаимодействия дают возможность перед сканированием всего множества вариантов решения упорядочить его и далее вести направленный перебор вариантов по их упорядоченному множеству.

Для поиска решения предлагаются три принципиальные стратегии.

Стратегия 1 (поиск решения задачи самоуправления в пределах области эффективных решений задачи координации) предусматривает этапы решения: генерирование множества решений для задачи координации; вычисление области эффективных решений для задачи координации (рисунок 3); фиксация эффективных наборов управляемых переменных задачи координации в качестве ограничений для задачи самоуправления; решение задачи самоуправления при указанных ограничениях.

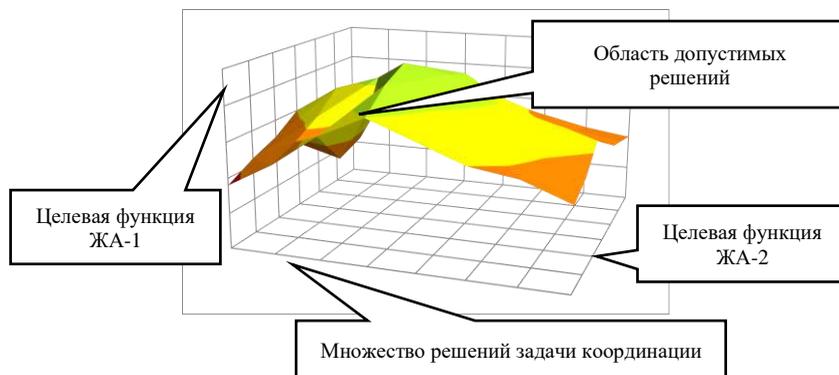


Рисунок 3 – Отыскание области эффективных решений задачи координации

Стратегия 2 (поиск решения задачи координации в пределах области эффективных решений задачи самоуправления) – обратная стратегии 1. Допустимые решения задачи самоуправления будут диктовать ограничения на решении задач координации.

Стратегия 3 (смешанная) – выбор эффективной стратегии должен производиться путем вычислительных экспериментов на реальных исходных данных.

Выводы.

1 Установлена необходимость решения проблемы комплексного обеспечения эффективности эксплуатационной работы в современных условиях на основе синтеза задач самоуправления (рациональной внутренней технологии эксплуатационной работы ТЖД) и задач координации (технологического взаимодействия) в ЖА других государств).

2 Предложенная классификация технологических ограничений и управляемых переменных при исполнении перевозок учитывает методы изменения внешних условий функционирования полигона железной дороги и методы повышения внутренней эффективности ее работы.

3 Поиск решения задачи предусматривает направленный перебор вариантов по их упорядоченному множеству с отсечением групп вариантов, не соответствующих ограничениям, с последующим нахождением компромиссного управления по набору эффективных альтернатив.

Список литературы

- 1 Критерии отнесения железнодорожных линий к малоинтенсивным / С. Н. Шарпов [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 12. – С. 19.
- 2 **Сотников, И. Б.** Облегченные условия эксплуатации малодеятельных линий / И. Б. Сотников // Информационное письмо ЦНИИ НКПС. – 1945. – № 18 (73). – 15 с.
- 3 **Borodin, A.** Methods of substantiation of specialization of railway lines / A. Borodin, E. Prokofieva // Transport Problems. – 2017. – Vol. 12, Special Edition. – P. 35–44.
- 4 **Бородин, А. Ф.** Адаптивное управление вагонопотоками / А. Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 1. – С. 33–37.
- 5 **Михалевич, В. С.** Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. – М. : Наука, 1982. – 288 с.
- 6 План формирования грузовых поездов на 2016–2017 гг. – М. : ООО «ИПП «КУНА», 2016. – Ч. 1. – 442 с.
- 7 Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД» : утв. ОАО «РЖД» / ОАО «Российские ж. д.», Департамент упр. перевозками, Российский науч.-исслед. и проектно-конструкторский ин-т информатизации, автоматизации и связи (ВНИИАС). – М. : Техинформ, 2007. – 527 с.
- 8 **Тишкин, Е. М.** Управление вагонопотоками в системе ДИСПАРК / Е. М. Тишкин, А. Ф. Бородин // Вестник ВНИИЖТ. – 1998. – № 1. – С. 9–13.
- 9 Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. – ОАО «РЖД», утв. 10.11.2010 г. № 128. – М. : Техинформ, 2011. – 289 с.
- 10 Исследование операций : в 2 т. / пер. с англ. ; под ред. Дж. Моудера, С. Элмграби. – М. : Мир, 1981. – Т. 1. – 712 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

■ Пулатов Пулодзон Набиджонович, г. Гафуров, Республика Таджикистан, ГУП «Таджикская железная дорога», заместитель начальника железнодорожной станции Худжанд, аспирант АО «ВНИИЖТ», Pulodi_patriot@mail.ru.

УДК 656.225 (476.1)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ РАЙОНОВ СТАНЦИИ КОЛЯДИЧИ

Е. А. СИЛИВОНОВ

УП «Минское отделение Белорусской железной дороги»

Станция Колядичи грузовая 1-го класса входит в состав Минского железнодорожного узла Белорусской железной дороги (БЧ). Расположена на пересечении двух важных для Республики Беларусь Международных транспортных коридоров – II (Российская Федерация – страны Западной Европы) и IX (Украина – страны Балтии). Эксплуатационная работа станции поделена между ДС Колядичи (Минским отделением БЧ) и ГС Колядичи (ТЛЦ Минск).