

## ОЦЕНКА СИСТЕМНЫХ СВОЙСТВ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКАМИ

Приведено описание предпосылок функционального развития Центра управления перевозками (ЦУП). Определены критерии оценки системных свойств структуры управления перевозочным процессом: координируемость, связность, устойчивость, управляемость, полнота информации; приведена методика их оценки. В результате анализа критериев оценки системы управления предложены варианты структур управления и функционального развития ЦУП. Проведена количественная оценка различных вариантов по установленным системным критериям. Даны рекомендации поэтапного реформирования структуры управления перевозочным процессом в условиях функционального развития ЦУП.

**В** 2012 году правительства Республики Беларусь, Казахстана и Российской Федерации подписали пакет документов, регулирующий доступ к услугам железнодорожного транспорта. Одним из положений данного пакета является поэтапное разделение системы перевозок на инфраструктурную и перевозочную составляющие. В таких условиях при возможном наличии множества равноправных перевозчиков изменяются и функции ЦУП как основного органа управления оператора инфраструктуры. Эти процессы затрагивают и структуру управления перевозочным процессом.

Развитие ЦУП и поэтапное изменение структуры управления железной дорогой может производиться по вертикали (поиск оптимальной системы иерархии управления на железнодорожном транспорте) и по горизонтали (поиск оптимальных размеров объектов управления) или одновременно реструктуризация и поиск рациональных структур транспорта по вертикали и горизонтали.

При оценке системных свойств структуры управления перевозочным процессом необходимо исходить из того, что железнодорожный транспорт общего пользования является регулятором материальных потоков между пунктами их зарождения и погашения. Критерии управления транспортными потоками должны исходить из общесистемных экономических положений и комплексного учета интересов операторов инфраструктуры, перевозчиков и грузовладельцев.

Задача создания эффективной и современной системы управления перевозками может быть решена на основе теории управления и теории логистических цепей. С позиции данной теории, система управления должна обеспечивать функциональное единство всех модулей, объединяемых в единую структуру узла  $m_i \in M$ , и их функций  $\phi_i \in \Phi$ , реализуя поставленную задачу.

Критериями оценки структуры управления (оптимизации функционирования) при совершенствовании эксплуатационной работы транспортных объектов являются *координируемость, заданный уровень управляемости, устойчивости работы, надежность* выполнения технологических процессов.

Система управления перевозочным процессом должна идентифицировать транспортные потоки в сети, обеспечить их пропуск и переработку по требуемым параметрам. Кроме того, система управления должна обеспечивать устойчивость работы всех объектов железной дороги, выполнение заданных количественных и качественных показателей.

Повышение качества управления реализуется за счет *координируемости* объектов управления применительно к каждой транспортной цепи, которая задается величинами  $\phi_i, x_i, y_i$ , представляющими вектор

$$z_i(t) = \begin{Bmatrix} \phi_i(t) \\ x_i(t) \\ y_i(t) \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где  $z_i(t)$  – управляющий вектор воздействий на перевозочный процесс в транспортной сети;  $\phi_i(t)$  – заданная функция на текущий момент времени  $t_i$ ;  $x_i(t)$  – параметрическая оценка состояния объектов на текущий момент времени  $t_i$ ;  $y_i(t)$  – заданная величина параметров на конец периода управления.

Совершенствование оперативного управления в транспортной системе предполагают создание многомерной системы управления, в которой концентрируется информация о транспортном потоке и о ходе технологических процессов на объектах дороги и клиентов. При таком подходе можно выявить способы увеличения степени связности взаимодействующих элементов (модулей), обеспечить структурную компактность. Скоординированная система управления перевозками должна быть открытой, и в нее могут включаться подразделения, которые позволяют увеличить интегрированный показатель эффективности управления перевозочным процессом.

*Связность* ( $S_{\text{лy}}$ ) скоординированной структуры управления перевозками определяется как сумма связей между управляющими и исполнительными объектами, включенных в централизованную систему оперативного управления, т. е.

$$S_{\text{лy}} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k a_{ij} + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n b_{ij}, \quad (2)$$

где  $j$  – логистическая цепь в системе перевозочного процесса,  $j = 1, 2, \dots, k$ ;  $i$  – оперативная связь в системе управления с модулями логистических цепей,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $a_{ij}$  – связи информационного обеспечения модулей логистических цепей на железной дороге с системой оперативного управления;  $b_{ij}$  – связи информационного обеспечения внешних субъектов по  $j$ -й логистической цепи.

Количественно связность системы управления может быть выражена матрицами  $\|a_{ij}\|$  и  $\|b_{ij}\|$ , соединяя в одно информационное поле процессы поездной и грузовой работы.

*Устойчивость* системы оперативного управления определяется как способность управляющей системы поддерживать в логистических цепях перевозочного процесса и их модулях режимы функционирования, обеспечивающие выполнение нормативных параметров в заданных границах. Данное определение соответствует общесистемному понятию устойчивости как способности системы стремиться из различных начальных состояний в некоторое равновесное состояние. Таким образом, система оперативного управления перевозочным процессом должна адаптироваться к внешним воздействиям и посредством принимаемых решений переводить транспортную работу железной дороги в стационарное (стабильное) состояние.

Устойчивость функционирования системы управления перевозками определяет работоспособность ее подсистем (модулей), а фазовые переменные в заданных пределах характеризуют качество и эффективность управления. Все воздействия, которые выводят систему из нормативного (установленного технологией работы) состояния, можно разделить на внутренние и внешние. Внутренние возмущения могут вызываться низким уровнем надежности технических средств и подвижного состава, нарушением технологии работы железнодорожных подсистем, отсутствием транспортных ресурсов и т. п. Внешние возмущения связаны с влиянием внешней среды, в т. ч. новыми и дополнительными требованиями клиентов (например, по условиям подачи вагонов), смежных железнодорожных администраций и другими факторами. Наступление и продолжительность нестандартных воздействий, как правило, носит случайный характер. На рисунке 1 приведен график изменения параметров, характеризующих качество транспортной работы под воздействием регулирующих мероприятий, т. е. зависимость  $t_{\text{то}} = f(\alpha_1, \alpha_2, \dots; \beta_1, \beta_2, \dots; e_1, e_2, \dots)$ , которая показывает отклонения  $t_{\text{то}}$  от нормативной величины  $t''_{\text{то}}$ , вызванные возмущающими воздействиями, и период регулирования работы модуля.

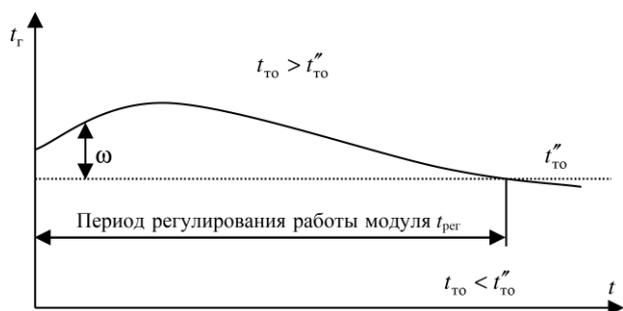


Рисунок 1 – Изменение во времени регулируемого параметра

Основными регулируемыми воздействиями на рассматриваемый параметр, обозначенными как  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $e$ , например на стационарном уровне, могут являться: количество маневровых локомотивов и их специализация, вариант распределения работы по окончанию формирования составов, число бригад ПТО, ПКО и т. д.

Свойство *управляемости* состоит в возможности системы управления перевозками воздействовать на перевозочный процесс для достижения установленных в планах целей. Если управляющие переменные не оказывают необходимого влияния на ход перевозочного

процесса на железной дороге, то такое управление неэффективно. В этом случае управляемый процесс не реагирует необходимым образом на управляющие воздействия. Управляющие воздействия разделяются на воздействия длительного характера, связанные с инвестициями в транспортную систему, и воздействия оперативного характера, заключающиеся в проведении организационно-технологических мероприятий.

Период регулирования системы посредством управляющих воздействий является количественной мерой ее управляемости. При повышении уровня централизации управления система управления перевозками будет интегрировать функции принятия решений и их исполнения по установленному набору задач управления транспортными потоками.

Система управления перевозочным процессом является интегрированной системой. Для ее функционирования необходим объем информации с различными параметрами детализации и между множеством объектов и элементов управления, а также между уровнями управления. Развитие системы управления должно сопровождаться процессами снижения неопределенности состояния перевозочного процесса.

Задержка информации во времени в процессе управления или неполнота информации приводят к потере ее ценности из-за старения или недостоверности. В результате такая искаженная или не вовремя поступающая информация может за собой повлечь неправильные решения, ухудшающие качество транспортного процесса. В связи с этим устанавливаются уровни достоверности и полноты информации. Поскольку в общем виде информационные потоки удовлетворяют принципам аддитивности, то эти потоки могут быть отображены уравнениями

$$\left. \begin{aligned} \varpi(t) &= \sum_{i=1}^p d_{ij}(t) \\ \varpi'(t) &= \prod_{i=1}^l b_{ij}(t) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где  $\varpi(t)$  – информационная емкость потока, состоящего из элементарных сообщений  $d_{ij}$ ;  $\varpi'(t)$  – информационная емкость потока, состоящего из элементарных сообщений  $b_{ij}$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$  – число объектов транспортного потока.

*Полнота* информационного потока о транспортном процессе определяется отношением полезной и достоверной информации к общему объему информации, т. е.

$$v(t) = \frac{\sum d_{ij}(t) + \sum b_{ij}(t)}{\varpi(t) + \varpi'(t)}, \quad (4)$$

где  $v(t)$  – функция полноты информации, изменяемая в пределах от 0 до 1.

Достоверность информационного потока о состоянии системы управления на любой текущий момент времени  $t$  определяется степенью соответствия оперативной информации о ходе перевозочного процесса реальному процессу. Это позволяет диспетчерскому персоналу принимать адекватные решения, соответствующие сущности самого процесса и возникающим при его реализации эксплуатационным ситуациям. Выполнение требований по обеспечению достоверности, полноты информации позволяет уменьшить неопределенность функционирования системы.

Перераспределение функций в системе управления перевозками предусматривает учет специфики перевозочных процессов и возможность изменения системы информационного обеспечения.

Важным свойством систем управления является энтропия. В реальных условиях система управления перевозочными процессами характеризуется большим разнообразием событий разного уровня значимости. Это разнообразие событий составляет некоторое множество, которое идентифицирует состояние системы  $S_x$ .

Оперативно-диспетчерский персонал, который представляет собой управляющий элемент системы управления перевозками, который обозначим как  $S_y$ , получает информацию лишь о тех событиях, которые представляют собой семантическую целесообразность для принятия элементом  $S_y$  управляющих решений. Обозначив информационное поле (множество) управляющих событий через  $D_{од}$  и множество событий, которые представляют семантический интерес для системы  $S_y$ , через  $d_y$ , можно заключить, что

$$\left. \begin{array}{l} d_y \ll D_{од} \\ \text{и} \\ d_y \in D_{од} \end{array} \right\}, \quad (5)$$

т. е.  $d_y$  составляет информационное подмножество событий, входящих в множество  $D_{од}$ , характеризующее состояние управляемой системы  $S_x$ . Управляющий элемент  $S_y$  не обладает всей полнотой информации о состоянии системы  $S_x$ , информационные потоки  $\Sigma d_{y_{ij}}$  и  $\Sigma b_{y_{ij}}$  не в полной мере характеризуют систему  $S_x$ . Система  $S_x$ , работая в реальном режиме времени, постоянно порождает новые события, которые также оцениваются элементом  $S_y$  для обеспечения эффективного управления.

Следовательно, элемент  $S_y$  должен работать в режиме реального времени по всему спектру функций, возлагаемых на нее. Элемент  $S_y$ , работая в реальном масштабе времени, находится в режиме некоторой неопределенности: во-первых, он обладает не всей информацией о перевозочном процессе; во-вторых, эта информация может быть неполной; в-третьих, информация о событиях может отставать от времени наступления событий. Неопределенность по мере поступления информации сокращается, а по мере наступления событий возрастает.

Неопределенность каждой ситуации в процессе оперативного управления и неопределенность хода производственного процесса в системе  $S_x$  характеризуется *энтропией*. В системе управления перевозками неопределенность может быть снижена за счет поступления в элемент  $S_y$  достоверной и полной информации.

При проектировании системы управления перевозками необходимо учитывать, что при незначительных вероятностях появления нестандартного события величина энтропии изменяется незначительно. Для событий, не содержащих неопределенности, энтропия равна нулю. Поэтому необходимо за счет уровня автоматизации управленческих исполнительных процессов увеличивать множество детерминированных событий, а выработка управляющей информации  $r_1, r_2, \dots$  должна производиться на основе реальных данных, характеризующих перевозочный процесс.

В зависимости от степени рассогласования нормативных и действительно выполняемых параметров работы системы энтропия может быть непрерывной и квантованной (в виде некоторых дискретных величин информации). Для определения ценности управляющей информации необходимо увязывать ее количество с эффективностью функционирования управляемой системы  $S_x$ . Увеличение числа управляющей информации может оказаться избыточным и экономически нецелесообразным.

В результате анализа критериев оценки системы управления предлагается рассмотреть **четыре варианта функционального развития ЦУП и реформирования структуры управления перевозочным процессом.**

*1 Развитие ЦУП без принципиального изменения функций. В его рамках продолжается концентрация оперативного управления перевозочным процессом.* Функции среднесрочного и долгосрочного планирования, а также административного управления в рамках данной структуры реализуются службой перевозок. Оперативно-распорядительные отделы отделений дороги включаются в структуру ЦУП. Отделы перевозок отделений дороги и станции остаются в непосредственном подчинении службы перевозок.

*2 Развитие ЦУП как самостоятельной структуры и расширение его функционального состава за счет передачи части функций службы перевозок и решения принципиально новых задач.* К функциям, передаваемым от службы перевозок, относятся: информационное обеспечение перевозочного процесса, контроль безопасности движения и охраны труда. При данной структуре расширяется состав решаемых функциональных задач, связанных с логистикой перевозок. Функция оперативного управления вагонным парком полностью реализуется в ЦУП. Отделы перевозок отделений дороги и станции остаются в непосредственном подчинении службе перевозок. Оперативное управление поездной работой в полном объеме концентрируется в ЦУП, а филиалы ЦУП в отделениях дороги реорганизуются.

*3 Больше, по сравнению со вторым вариантом, расширение функционального состава ЦУП за счет передачи функций оперативного управления перевозочным процессом от служб Белорусской железной дороги.* При этом в рамках ЦУП реализуются функции оперативного управления грузовой работой, маркетинг, организация эксплуатации локомотивов и локомотивных бригад. Исключаются разрывы в реализации функций оперативное управление вагонным парком, организация работ в «окно», оперативное управление локомотивным парком, логистика перевозок, оперативное управление пассажирскими перевозками. Расширяется перечень задач, решаемых в рамках названных выше функций. Функции, связанные с административным управлением, долгосрочным и среднесрочным планированием, определением технической политики реализуются службой перевозок. На линейном уровне создаются опорные центры, в подчинение которых входят станции. Отделы перевозок отделений дороги реорганизуются. Функции отделов перевозок распределяются между ЦУП и опорными центрами. Опорные центры и станции остаются в административном подчинении службы перевозок.

4 Максимальная концентрация в ЦУП функций, связанных с управлением перевозочным процессом. Все функции, связанные с организацией перевозочного процесса, передаются от службы перевозок в ЦУП. К таким функциям относятся: техническое нормирование и анализ, организационно-техническое обеспечение эксплуатационной работы дороги, техническая политика. Опорные центры и станции переходят в структуру ЦУП и становятся его функциональными подразделениями.

Для каждого из вариантов функционального развития ЦУП выполнена параметрическая оценка. Параметры, характеризующие систему управления, приведены для примера по функции «Текущее планирование поездной работы» (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные параметры и оценочные характеристики структур управления

Параметры	Обозначения	Вариант организационной структуры			
		1	2	3	4
Число вершин структуры	$n$	109	104	50	47
Связи вершин	$\sum a_{ij}$	1352	1132	442	414
Максимальный диаметр структуры	$d_{ij}$	7	7	6	6
Степень связности элементов	$p_i$	ДГП-20 ДНЦ-25 ДСЦ-14	ДГП-18 ДНЦ-22 ДСЦ-13	ДГП-17 ДНЦ-20 ДСЦ-8	ДГП-17 ДНЦ-20 ДСЦ-7
Структурная избыточность	$S_n$	5,26	4,50	3,51	3,50
Неравномерность распределения связей	$\varepsilon^2$	7,19	6,5	5,12	4,17
Структурная компактность	$S_k$	0,78	0,57	0,47	0,5
Максимальное значение разброса структуры	$z_i$	71	70	37	37
Степень централизации	$\delta$	0,47	0,52	0,66	0,75

Анализ параметров различных структур оперативно-го управления позволил сделать следующие **выводы**.

При первом варианте развития ЦУП система управления обладает достаточно хорошими показателями компактности ( $S_k = 0,78$ ) и неравномерностью распределения связей ( $\varepsilon^2 = 7,19$ ). Однако эти показатели достигаются при достаточно низкой степени централизации ( $\delta = 0,47$ ).

При втором варианте ЦУП за счет централизации оперативно-го управления поездной работой и полного перевода диспетчерского аппарата в ЦУП повышается уровень централизации до ( $\delta = 0,52$ ). При этом повышается структурная компактность системы (до 0,57), на 15 % снижается неравномерность распределения связей, повышается степень связности элементов управления.

При третьем варианте за счет существенного сокращения количества вершин управления (создание опорных центров, перенос в них функций текущего планирования со станционного уровня) снижается диаметр структуры управления, сокращается количество связей. Это позволяет снизить структурную избыточность на 37 %, уменьшить неравномерность распределения связей на 29 %, возрастает структурная компактность на 36 %.

В итоге степень централизации функций управления увеличивается на 40 %.

Четвертый вариант структуры ЦП позволяет достигнуть максимального уровня централизации ( $\delta = 0,75$ ). Такая система обладает значительным потенциалом структурной надежности и компактности. Структурная компактность достигает рационального значения ( $S_k = 0,5$ ). Данный вариант обеспечивает минимальную структурную избыточность ( $S_n = 3,5$ ) и равномерность распределения связей (4,17).

Проанализировав параметры различных вариантов систем управления перевозками, можно сделать вывод, что более эффективным с позиции теории управления является четвертый вариант функционального развития ЦУП, однако его реализация сопряжена со значительными социальными и экономическими рисками. Поэтому в качестве рекомендации для Белорусской железной дороги предложен поэтапный переход от менее к более эффективным вариантам структуры. При поэтапном развитии ЦУП для повышения качества управления перевозочным процессом необходимо руководствоваться следующими положениями.

1 Построение системы управления перевозками должно основываться на реструктуризации функций управления по видам транспортной деятельности и интеграции их с учетом общих задач перевозочного процесса. С этой целью необходимо:

- объединение оперативного управления перевозочным процессом (поездной работой, грузовой работой, работой локомотивов, движением пассажирских поездов и т. п.) в одном структурном подразделении (ЦУП);
- формирование отдела логистики, объединяющего функции управления, связанные с организацией перевозок конкретных видов грузов и позволяющие учитывать требования грузовладельцев к условиям перевозки;
- создание отдела маркетинга, в котором должна быть сконцентрирована работа по анализу конъюнктуры транспортного рынка, организации взаимодействия с участниками перевозочного процесса и анализу тарифной политики;

– сформировать единую структуру по организации использования вагонного парка и исключить функциональные разрывы, связанные с разделением решаемых задач между различными службами дороги.

Интеграция задач по функциональным признакам позволит обеспечить выполнение расчетных уровней координируемости и управляемости эксплуатационной работой.

2 Повышение устойчивости функционирования системы управления перевозками должно достигаться за счет поддержания управляющих и фазовых переменных в нормативных границах. Для этого требуется:

- сконцентрировать административное и оперативное управление процессами перевозок на дорожном уровне, что позволит снизить количество звеньев управления, сократить цикл управления, повысить оперативность принятия управленческих решений;
- перенести процедуры среднесрочного и долгосрочного планирования поездной, грузовой работы и работы локомотивов с линейного и отделенческого на дорожный уровень;
- разработать технологии, регламентирующие деятельность работников различных уровней управления в

зависимости от величины отклонения параметров перевозочного процесса (например, оперативная корректировка плана формирования при изменении структуры и мощности вагонопотока; изменение графика движения местных поездов в зависимости от наличия на станциях вагонов с местным грузом, корректировка массы формируемых составов в зависимости от наличия поездных локомотивов и т. п.).

3 Управление перевозочным процессом должно основываться на использовании современных технических средств съема и обработки информации. Для этой цели необходимо:

– расширение использования систем ДЦ и поэтапная замена ПАБ на участках дороги на современные системы;

– поэтапный отказ от ручной фиксации событий и переход к ведению ГИД с функциями автоматического формирования сообщений о поездной работе;

– внедрение информационно-управляющих систем, в которых реализуются функции оперативного планирования и управления на основе автоматического сбора информации (например, КС УПР БЧ);

– снижение количества информации, передаваемой в неформализованном виде и разработка технологий автоматизированного сбора и регистрации информации для принятия управленческих решений (например, для задач: регулировка порожних вагонов, обеспечение поездной работы заданным парком локомотивов, организация работы локомотивных бригад и т. п.);

– снижение эмпирической составляющей в планово-экономических расчетах (разработка плана формирования поездов, прогнозных планов деятельности дороги, планов грузовой работы по структурным подразделениям и т. п.) и переход к регламентированным технологиям расчета на основе сформированных (например, в ИАС ПУР ГП) информационных массивов;

– повышение квалификации и исполнительской дисциплины у работников, связанных со сбором и вводом информации.

Внедрение новых технических средств и технологий управления перевозками позволит обеспечить требуемый уровень характеристик информационных потоков в управляющей системе, понизить уровень неопределенности как на управленческом, так и на исполнительских уровнях.

Получено 12.09.2013

**A. A. Erofeev.** Assessment of system properties of management's structure of transportation process in the condition of functional development control center of transportations.

The description of preconditions functional development of control center of transportations is provided. Criteria of an assessment of system properties of management's structure are defined by transportation process: connectivity, stability, controllability, completeness of information; the technique of their assessment is given. As a result of the analysis of criteria an assessment control system options of managements structures and functional development of control center of transportations are offered. The quantitative assessment of various options on established system to criteria is carried out. Recommendations of stage-by-stage reforming of management's structure by transportation process in the conditions of functional development of control center of transportations are made.

4 Система управления перевозками должна обеспечивать непрерывный контроль за ходом перевозочного процесса. Для этого необходимо:

– развитие моделей перевозочного процесса (вагонной, локомотивной, бригадной, контейнерной, отправочной и т. п.);

– повышение детализации фиксируемых в моделях операций за счет внедрения новых технологий и развития систем сбора информации;

– внедрение новых моделей перевозочного процесса с использованием современных систем информационных технологий (геоинформационные технологии, обмен данными в стандарте GSM-R, системы интервального регулирования и т. п., системы МПЦ на станциях).

Внедрение моделей перевозочного процесса и расширение их использования в системах управления позволит снизить энтропию перевозочного процесса и за счет непрерывного контроля минимизировать отклонения выходных параметров работы объектов от нормативных значений.

Результаты данных исследований легли в основу разработки технико-экономического обоснования развития ЦУП Белорусской железной дороги.

#### Список литературы

1 Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог / под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1990. – 288 с.

2 **Ерофеев, А. А.** Развитие системы управления поездной работой на Белорусской железной дороге / А. А. Ерофеев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2010. – С. 36–37.

3 **Кузнецов, В. Г.** Развитие Центра управления перевозками Белорусской железной дороги / В. Г. Кузнецов, А. А. Ерофеев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 27–28.

4 Проблемы построения и функционирования центров управления железными дорогами и узлами / под ред. П. С. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1988. – 106 с.

5 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / под ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.