

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗВРАТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ПРИПОРТОВЫХ И ПОГРАНИЧНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ



В.А. Эсаулов



Е.В. Мединцев

Решается задача оптимизации возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций на примере Восточного полигона. Решение задачи позволяет нормировать транзитный и разборочный поездопотоки со станций массового зарождения при построении нормативного графика движения поездов, а также перераспределять работу по формированию разборочного поездопотока между станциями в зависимости от интенсивности прогнозируемого подхода груза.

Ключевые слова: моделирование, оптимизация, возврат порожнего потока, нормативный график движения поездов

EDN: XHNDST

Грузовые перевозки в пределах Восточного полигона служат важной составляющей экономики России. В условиях роста масштаба и интенсивности перевозок усиливается внимание к обеспечению их эффективности [1;2]. До настоящего времени не решена задача нормирования разборочного поездопотока на подходах к сортировочным станциям [3;4]. Нормативный график движения поездов предусматривает обезличенное нормирование поездопотока [3;5], а план формирования грузовых поездов не подразумевает количественное образование формируемых поездов [6].

Вместе с тем, оптимизация возврата порожнего подвижного состава после выгрузки является неотъемлемой частью перевозочного процесса. Ритмичное про-

движение грузовых поездов с припортовых станций, а также пограничных переходов напрямую зависит от качества построения потока и соотношения в нем разборочных и транзитных поездов относительно ближайшей сортировочной станции массовой переработки вагонопотока.

Кроме того, логистика грузовой составляющей перевозок также тесно связана с качеством организации встречного поездопотока. При ограничении отправления поездов с припортовых и пограничных станций возрастает показатель рабочего парка вагонов на станциях, снижается возможность приема грузевых составов. Как следствие, возрастает риск отставления от движения поездов с востребованными номенклатурами груза.

Эсаулов Вячеслав Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация перевозок и безопасность на транспорте» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС), заместитель начальника Дальневосточного отдела логистики перевозок и информационного анализа центра управления перевозками на Восточном полигоне – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: моделирование транспортных процессов железнодорожного транспорта. Автор 13 научных работ.

Мединцев Евгений Викторович, заместитель начальника Центра управления перевозками на Восточном полигоне - начальник Дальневосточного отдела логистики перевозок и информационного анализа центра управления перевозками на Восточном полигоне – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: моделирование транспортных процессов железнодорожного транспорта. Автор четырех научных работ.

Структура поездопотока от припортовых и пограничных станций к ближайшей сортировочной станции

В общем виде структуру поездопотока от припортовых и пограничных станций к ближайшей сортировочной станции можно представить в виде ориентированного графа, где цифрами обозначены вершины (i), обобщающие станции формирования возвращаемого потока, буквами — вершины (j), обобщающие транзитную (А) и сортировочную (Б) системы ближайшей сортировочной станции; ребрами графа являются формируемые транзитные (X_{ij}) и разборочные (Y_{ij}) потоки (рис. 1).

Каждая из систем сортировочной станции имеет свою расчетную перерабатывающую способность (Π). Вместе с тем суммарный поездопоток $\Sigma(X_{ij}+Y_{ij})$ не должен превышать пропускную способность направления (N).

Анализ данных по формированию транзитного и разборочного поездопотока с припортовых и пограничных станций и их влияние на параметры выгрузки

В ходе исследования проведен анализ структуры потока с припортовых и пограничных станций Дальневосточной железной дороги к нечетной системе сортировочной станции Хабаровск-2. В ходе проведенного исследования установлено, что в январе 2024 г. равномерность отправления разборочных и транзитных поездов со станций массового зарождения вагонопотока восточного участка Транссиба нарушена (рис. 2). Как следствие, не доезжая до нечетной

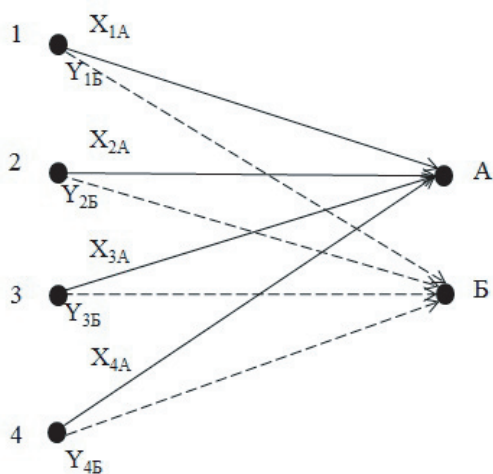


Рис. 1. Общая структура вагонопотока, возвращаемого с припортовых и пограничных станций

системы станции Хабаровск-2 отставлено от движения 42 порожних состава и организована неплановая смена 59 локомотивных бригад на промежуточных станциях. Следует отметить, что «подъем», «отставление» поездов и неплановая смена локомотивных бригад являются дорогостоящими технологическими операциями, требующими отвлечения работников вагонного хозяйства, а также приводящими к снижению производительности локомотива и качества использования локомотивных бригад.

Вместе с тем исследовано посуточное формирование возвращаемого поездопотока и его влияние на общую выгрузку и передачу вагонов в портах и пограничных переходах восточной части Транссиба. Установлено, что соотношение количества отправляемых транзитных и разборочных поездов относительно ближайшей сортировочной станции оказывает прямое влияние на способность припортовых станций и пограничных переходов принимать груженные составы и своевременно их выгружать (передать). Представленные на рис. 2 графики показывают прямую зависимость суточной выгрузки от количества отправленных разборочных поездов и обратную зависимость от количества транзитных поездов. Данные зависимости подтверждают и полученные коэффициенты корреляции — между выгрузкой и отправляемыми разборочными поездами коэффициент принял значение 0,59, между выгрузкой и отправляемыми транзитными поездами полученное значение составило -0,38.

Вместе с этим, проведенный анализ влияния отправления общего поездопотока с припортовых и пограничных станций Дальневосточной железной дороги на параметры выгрузки груженого вагонопотока по данным 2024 г. наглядно демонстрирует прямое влияние отправления поездов с припортовых и пограничных станций на показатель выгрузки (рис. 3).

За 12 месяцев в пределах Дальневосточной железной дороги среднесуточное отправление поездов с припортовых станций снижено на 9,9%, одновременно, уровень среднесуточной выгрузки снижен на 5,2%. Прослеживается идентичность кривых снижения показателей по возврату поездопотока и выполнения выгрузки.

В ходе проведенного исследования установлены параметры среднесуточного отправления транзитных и разборочных поездов (относительно нечетной системы станции Хабаровск-2) с припортовых и пограничных железнодорожных станций формирования в январе 2024 г. Полученные данные сведены в табл. 1.

На основании полученных данных целесообразно сделать вывод — решение задачи нормирования



Рис. 2. Динамика выгрузки, формирования транзитных и разборочных поездов на станциях восточного участка Транссиба

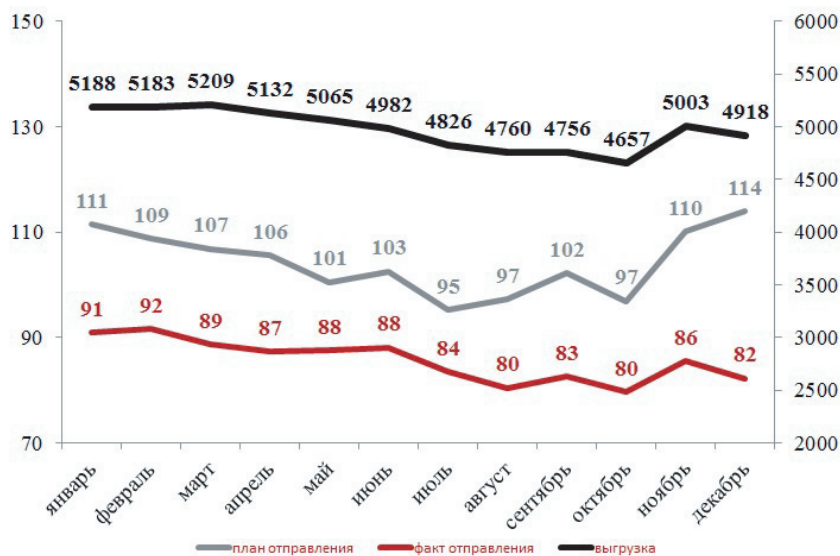


Рис. 3. Влияние отправления поездов с припортовых станций на выгрузку в 2024 г.

отправления разборочного и транзитного поездопотока со станций массового зарождения вагонов приведет к ритмичной работе не только горочного комплекса сортировочной станции, но также и ритмичной работе припортовых станций. Таким образом, эффективная логистика продвижения груза железнодорожным транспортом невозможна без оптимизации отправления поездопотока с припортовых и пограничных станций.

Методика решения оптимизационной задачи организации возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций

Для моделирования потока после выгрузки необходимо формализовать задачу оптимизации [7–10]. В качестве критерия оптимизации целесообразно рассмотреть суммарный поездопоток $\sum(X_{ij} + Y_{ij})$. В данном случае необходимо найти максимальное значение

Таблица 1

**Среднесуточное формирование порожнего потока с припортовых
 и пограничных станций Дальневосточной железной дороги**

Станции	Транзитный поездопоток (тип X)	Разборочный поездопоток (тип Y)	Общий (суммарный) поездопоток
Находка-Восточная	10	13	23
Находка	6	4	10
Мыс Астафьева	0	1	1
Крабовая	0	0	0
Рыбники	0	0	0
Стрелковая	3	1	4
Смоляниново	0	1	1
Владивосток	4	2	6
Мыс Чуркин	2	1	3
Гайдамак	1	0	1
Первая Речка	0	2	2
Посыет	0	2	2
Бамбурово	0	1	1
Приморская	0	0	0
Угловая	2	0	2
Угольная	1	0	1
Хмыловский	3	0	3
Гродеково	0	2	2
Камышовая	0	2	2
Хасан	0	0	0
Артем-Приморский 1	0	1	1
Артем-Приморский 3	0	1	1
Гвоздево	0	0	0
Сибирцево	0	2	2
Спасск-Дальний	0	0	0
Уссурийск	1	3	4
Надеждинская	0	0	0
Старый Ключ	0	1	1
Океанская	0	0	0
Лозовый	0	0	0
Партизанск	0	0	0
Сухановка	0	0	0
Всего:	33	40	73

суммарного поездопотока, возвращаемого с припортовых и пограничных станций

$$\Sigma(X_{ij} + Y_{ij}) \rightarrow \max,$$

при имеющихся ограничениях:

- суммарный поток типа X должен быть меньше или равен перерабатывающей способности транзитной системы А

$$\Sigma X_{ij} \leq \text{ПА};$$

- суммарный поток типа Y должен быть меньше или равен перерабатывающей способности сортировочной системы Б

$$\Sigma Y_{ij} \leq \text{ПБ};$$

- суммарный поток обоих типов должен быть равен наличной пропускной способности направления

$$\Sigma(X_{ij} + Y_{ij}) = N.$$

Для решения задачи сформируем табл. 2.

Применение методики на примере влияния возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций Восточного полигона на существующие размеры движения

Исходными данными для решения конкретной производственной задачи по оптимизации возврата порожних вагонов послужат план формирования грузовых поездов (ПФП) и пропускная способность полигона, определяемая нормативным графиком движения поездов от станций зарождения поездопотока до ближайшей сортировочной станции массовой переработки. Также в качестве исходных данных необходимы расчетные параметры перерабатывающей способности горки и пропускной способности транзитных парков, определяемые техническим оснащением и путевым развитием сортировочной станции.

В качестве примера рассмотрим нечетную систему станции Хабаровск-2. В нормативном графике движения поездов предусмотрено 92 грузовых поезда нечетного направления, поступающих на данную станцию. Расчетная перерабатывающая способность нечетной горки составляет 2900 вагонов в сутки, что соответствует ежесуточному расформированию 40 поездов длиной 71 вагон. Соответственно, для решения задачи предусмотрим поступление 52 транзитных поездов.

Общее количество поездов, а также возможность формирования транзитных (типа «X») и разборочных поездов (типа «Y») для нечетной системы сортировочной станции Хабаровск-2 со станций зарождения порожнего поездопотока представлена в табл. 3.

В качестве практического использования полученных значений возможно назначение конкретных ниток отправления разборочных поездов с каждой станции формирования. Определение точек отправления целесообразно проводить от станции Хабаровск-2 к станциям зарождения потока, используя принцип равномерности подвода разборочных поездов к нечетной сортировочной системе.

Используя принятые ограничения, решается транспортная задача линейного программирования. Также принято условие, что количество отправляемых транзитных и разборочных поездов должно быть больше или равно среднему количеству формируемых составов. Результат решения представлен в табл. 4.

Увеличение пропускной способности рассматриваемого направления возможно посредством систематического и планомерного формирования жестко сцепленных транзитных поездов с локомотивами в голове каждого поезда с остаточным временем до следующего проведения технического обслуживания по циклу ТО-2, позволяющим проследовать станцию Хабаровск-2 без размена локомотива. Таким образом, на одну нитку проследуют два транзитных поезда с занятием одного приемоотправочного пути на станции Хабаровск-2.

Таблица 2

Ограничения для решения оптимизационной задачи

Станция формирования	Тип вагонопотока		Общее количество поездов
	X	Y	
1	X_{1A}	Y_{1B}	$\Sigma(X_{1A} + Y_{1B})$
2	X_{2A}	Y_{2B}	$\Sigma(X_{2A} + Y_{2B})$
3	X_{3A}	Y_{3B}	$\Sigma(X_{3A} + Y_{3B})$
4	X_{4A}	Y_{4B}	$\Sigma(X_{4A} + Y_{4B})$
	$\Sigma X_{ij} \leq \text{П}_A$	$\Sigma Y_{ij} \leq \text{П}_B$	$\Sigma(X_{ij} + Y_{ij}) = N$

Таблица 3

**Исходные ограничения и параметры для оптимизации возврата поездопотока
 с припортовых и пограничных станций**

Станции	Возможность формирования поездопотока для станции Хабаровск-2		Общий (суммарный) поездопоток
	Транзитный поездопоток (тип X)	Разборочный поездопоток (тип Y)	
Находка-Восточная			32
Находка			10
Мыс Астафьева	нет в ПФП	нет в ПФП	1
Крабовая	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Рыбники	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Стрелковая			5
Смоляниново			1
Владивосток			9
Мыс Чуркин			3
Гайдамак			2
Первая Речка	нет в ПФП		2
Посьет			2
Бамбурово	нет в ПФП	нет в ПФП	1
Приморская	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Угловая		нет в ПФП	2
Угольная			2
Хмыловский		нет в ПФП	3
Гродеково	нет в ПФП		2
Камышовая	нет в ПФП	нет в ПФП	2
Хасан	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Артем-Приморский 1		нет в ПФП	1
Артем-Приморский 3			1
Гвоздево	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Сибирцево	нет в ПФП		2
Спасск-Дальний	нет в ПФП		1
Усурийск			9
Надеждинская	нет в ПФП		1
Старый Ключ	нет в ПФП		1
Океанская	нет в ПФП		1
Лозовый	нет в ПФП		1
Партизанск	нет в ПФП		1
Сухановка	нет в ПФП		1
Всего:	52	40	92

Таблица 4

Результаты решения оптимизационной задачи возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций на существующие размеры движения

Станции	Формируемый поездопоток		Общий (суммарный) поездопоток
	Транзитный поездопоток (тип X)	Разборочный поездопоток (тип Y)	
Находка-Восточная	19	13	32
Находка	6	4	10
Мыс Астафьева	0	1	1
Крабовая	0	0	0
Рыбники	0	0	0
Стрелковая	4	1	5
Смоляниново	0	1	1
Владивосток	7	2	9
Мыс Чуркин	2	1	3
Гайдамак	2	0	2
Первая Речка	0	2	2
Посъет	0	2	2
Бамбурово	0	1	1
Приморская	0	0	0
Угловая	2	0	2
Угольная	2	0	2
Хмыловский	3	0	3
Гродеково	0	2	2
Камышовая	0	2	2
Хасан	0	0	0
Артем-Приморский 1	0	1	1
Артем-Приморский 3	0	1	1
Гвоздево	0	0	0
Сибирцево	0	2	2
Спасск-Дальний	0	0	0
Усурийск	5	3	6
Надеждинская	0	0	0
Старый Ключ	0	1	1
Океанская	0	0	0
Лозовый	0	0	0
Партизанск	0	0	0
Сухановка	0	0	0
Всего:	52	40	92

Графическое изображение формирования разборочного поездопотока к нечетной системе станции Хабаровск-2 представлено в виде диаграммы на рис. 4.

Вместе с тем, представленные размеры движения имеют существенные технологические резервы: проектная мощность нечетной горки железнодорожной станции Хабаровск-2 составляет 3500 вагонов, что предполагает возможность расформирования 49 поездов длиной 71 вагон (фактическая переработка в январе 2024 г. составила 3020 вагонов среднесуточно); расчетная пропускная способность всех транзитных парков нечетной системы превышает 100 поездов среднесуточно.

Прогнозируемые эффекты

Решение поставленной задачи позволяет получить следующие эффекты:

- среднесуточная выгрузка на припортовых станциях Дальневосточной железной дороги в январе 2024 г. составила 5147, равномерное отправление разборочных поездов в количестве 40 составов позволяет прогнозировать уровень выгрузки в количестве 5206 вагонов, тем самым обеспечив рост показателя на 59 вагонов ежесуточно;
- ритмичность и равномерность поступления поездов на ближайшую сортировочную станцию позволит исключить временное отставление грузовых составов и незапланированные смены локомотивных бригад на промежуточных станциях участков, примыкающих к сортировочной станции;

- оптимальное распределение разборочных поездов позволит обеспечить ритмичную работу горочного комплекса сортировочной станции;

- ускорение выгрузки позволит ускорить оборот вагона, вместе с этим — снизить рабочий парк припортовой дороги.

Вариативность применения методики в условиях неравномерности вагонопотоков

Практика показывает — равномерное поступление груза на станции массовой выгрузки или передачи по межгосударственным стыковым пунктам по большей части исключение. Теоретические расчеты учитывают фактор неравномерности через коэффициент неравномерности перевозок. На ритмичность подвода грузовых поездов оказывают влияние, помимо прочих, складская логистика, своевременный подвод судов, а также скорость выполнения грузовых операций.

Современные информационные системы, такие как «АСУ МР», «ЕМД ПП УЭР», позволяют планировать подвод груженых составов к станциям выгрузки на трое суток вперед, а также осуществлять регулировочное отставление поездов, обеспечивая эффективность работы транспортной системы. Прогнозируя прибытие поездов на станции назначения, используя предложенную методику возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций, целесообразно в оперативном режиме перераспределять количество формируемых разборочных поездов для ближайшей сортировочной станции.

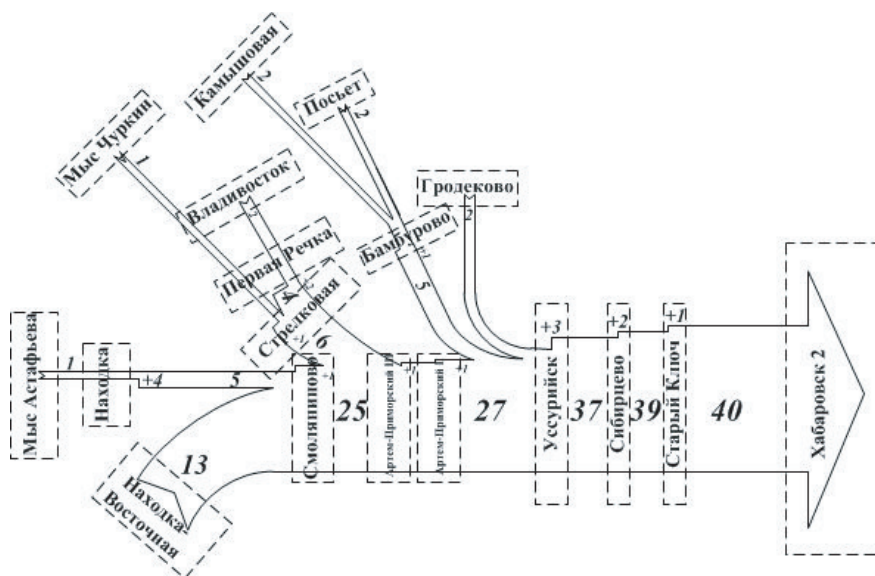


Рис. 4. Диаграмма формирования разборочного поездопотока к нечетной системе станции Хабаровск 2

Выводы

В настоящей работе предложена методика нормирования разборочного и транзитного поездопотоков с припортовых и пограничных станций. В основе методики лежит решение оптимизационной задачи линейного программирования. Представлен пример нормирования разборочного и транзитного поездопотоков с припортовых и пограничных станций Восточного полигона на основе разработанной методики.

В статье доказан тезис — оптимальное соотношение транзитного и разборочного поездопотоков, отправляемых с припортовых и пограничных станций, напрямую влияет не только на ритмичную работу горочного комплекса сортировочной станции, но также и на выгрузку в морских терминалах и передачу вагонов через пограничные переходы, следовательно и на эффективность логистики железнодорожного транспорта в целом.

Представленная методика имеет прямое практическое применение и универсальна для железных дорог сети. Прогнозируемые эффекты заключаются в увеличении выгрузки на припортовых станциях, повышении производительности локомотивов, сокращении оборота локомотивных бригад, а также в ускорении оборота грузового вагона.



Литература

1. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. - URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 14.01.2025). - Текст : электронный.
2. Бородин, А. Ф. Научная оценка перспектив модернизации Восточного полигона сети Российских железных дорог / А. Ф. Бородин, М. В. Сторчак. - Текст : непосредственный // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». - 2017. - № 2. - С. 65-73.
3. Инструкция по составлению месячных технических норм эксплуатационной работы: утверждена первым заместителем министра путей сообщения Н. С. Конаревым 11 августа 1978 г. - КонсорциумКодекс [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200106988?ysclid=m7ixih6bba621862699>. (дата обращения: 14.01.2025). - Текст : электронный.
4. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утверждены Приказом Министерства транспорта РФ от 23.06.2022 № 250. - URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=1827&ysclid=m7izdnp2al348414183> (дата обращения: 14.01.2025). - Текст : электронный.
5. О нумерации поездов для графика движения: Распоряжение ОАО «Российские железные дороги» № 859 : утверждено первым вице-президентом ОАО «РЖД» В. Н. Морозовым 5 апреля 2014 г. - КонсорциумКодекс. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/420320943?section=operative> (дата обращения: 14.01.2025). - Текст : электронный.
6. Маловецкая, Е. В. Актуальность применения имитационного моделирование при расчете плана формирования поездов с учетом развития полигонных технологий / Е. В. Маловецкая. - Текст : непосредственный // Т-Сопп: Телекоммуникации и транспорт. - 2019. - Т. 13, № 4. - С. 48-53.
7. Рахмангулов, А. Н. Методы оптимизации транспортных процессов / А. Н. Рахмангулов. - Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 1999. - 114 с. - Текст : непосредственный.
8. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций / Хемди А. Таха ; пер. с англ. и ред. А. А. Минько. - 7-е изд. - Москва [и др.] : Вильямс, 2005. - 901 с. + CD-ROM. - Текст : электронный.
9. Эсаулов, В. А. Рациональное распределение перевозок на основе решения транспортной задачи линейного программирования / В. А. Эсаулов, Б. И. Давыдов, Е. В. Мединцев. - Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. - 2024. - № 1(68). - С. 33-40.
10. Попова, Т. М. Методы безусловной оптимизации : тексты лекций : учебное пособие / Т. М. Попова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Тихоокеанский гос. ун-т». - Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2014. - 75 с. - Текст : непосредственный.