

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОБОРОТА ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ



Е.В. Щербинина

В статье предложена унифицированная методика построения графика оборота транспортных единиц в пассажирских перевозках с учетом простоя подвижного состава под техническим осмотром и разными видами ремонтов. Методика также позволяет определить потребный парк подвижного состава и применима на любом виде транспорта.

Ключевые слова: транспортная единица (ТЕ), график оборота, маршрут, потребный парк подвижного состава, пассажирские перевозки

EDN: ZLKVM

Целью данной работы является разработка унифицированной методики построения графика оборота транспортных единиц (ТЕ) в пассажирских перевозках, обеспечивающей минимальный потребный парк подвижного состава, обслуживающий заданную сеть и учитывающей необходимость увеличения потребного парка подвижного состава вследствие его простоя под выполнением технического осмотра, текущего и капитального ремонтов. В качестве ТЕ может выступать любое транспортное средство, курсирующее по заданным маршрутам внутри ограниченной транспортной сети по детерминированному расписанию (по утвержденным четким ниткам графика): транспортные средства городских, пригородных, междугородних пассажирских перевозок (электропоезд, трамвай, автобус, электробус, маршрутное такси, поезда метрополитена, поезда дальнего следования). В основе методики лежит алгоритм построения графика оборота пригородных составов, предложенный Ю.О. Пазойским [1].

Унифицированная методика построения графика оборота ТЕ позволит обеспечить равномерность использования подвижного состава, ритмичность работы пунктов технического обслуживания и выполнения ремонта, снижение эксплуатационных затрат и износа транспортных средств, упрощает обнаружение и последующее устранение «узких» мест в транспортной сети, снижает количество ошибок при построении графика оборота, упрощает анализ выполненной эксплуатационной работы и способствует повышению точности процессов прогнозирования.

Вопросы совершенствования методик построения графика оборота транспортных средств рассматривались в ряде научных работ [2–5].

Построение графика оборота ТЕ сводится к решению задачи по увязке «ниток» графика движения транспортных единиц всех маршрутов в рассматриваемой сети с обеспечением минимального потребного количества ТЕ и с учетом выполнения всех видов планового ремонта для заданного вида транспорта

Щербинина Екатерина Владимировна, аспирант кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация движения транспортных средств, управление пассажирскими перевозками, организация взаимодействия разных видов транспорта, транспортные пересадочные узлы, инфраструктура железнодорожных станций. Автор семи научных работ.

Е.В. Щербинина
«ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОБОРОТА ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ
В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ»

(технического обслуживания (ТО), текущего ремонта, капитального ремонта).

Количество ТЕ, обслуживающих транспортную сеть или участок сети в любой момент времени, складывается из числа ТЕ, находящихся на маршрутах (в том числе на остановочных пунктах или в движении между ними) и числа ТЕ, пристаивающих на пунктах оборота. В данном случае под маршрутом понимается маршрут регулярных пассажирских перевозок – установленный путь следования ТЕ от пункта отправления до пункта назначения или до возвращения в пункт отправления через заданные промежуточные пункты в соответствии с утвержденным графиком движения, совершаемый ТЕ за один рейс [6].

При разрезе графика движения ночью, число ТЕ, обслуживающих заданную сеть, равно суммарному числу составов, находящихся на пунктах оборота. В свою очередь, число ТЕ, находящихся на ночном отстое на каждом пункте оборота, определяется увязкой расписаний прибытия и отправления ТЕ, в разрезе рассматриваемого пункта оборота.

Для определения количества ТЕ в простое на пункте оборота необходимо нанести на шкалу времени расписания прибытия и отправления (нитки графика) всех ТЕ, имеющих оборот на данном пункте за сутки (24 часа), тем самым разделив временную шкалу на отрезки времени. Очевидно, что после прибытия одной ТЕ на пункт оборота, количество ТЕ – K , увеличится и составляется $K+1$, при отправлении одной ТЕ с пункта оборота количество ТЕ соответственно уменьшится и составит $K-1$.

После нанесения ниток графика на временную шкалу выполняется увязка расписаний прибытия и отправления. Важно отметить, что временной интервал между увязанными нитками графика по прибытию и отправлению не может быть меньше нормы времени на оборот ТЕ, которая в свою очередь определяется нормой времени на ее техническое обслуживание (послерейсовый и предрейсовый осмотры, экипировка расходниками, ТО, выполнение плановых видов ремонта) и принятой технологией работы предприятия, причем для разных пунктов оборота норма времени на оборот не обязательно должна быть одинаковой.

Следует отметить, что в городском, пригородном и междугороднем сообщении норма времени на оборот различна. Например, для электропоездов, обращающихся в пригородном сообщении, время оборота может составлять 10–20 минут, а для поездов дальнего следования время оборота зависит от продолжительности технического обслуживания состава после рейса и подготовки его к следующему и может составлять 2 и более часов.

Временной отрезок на шкале времени, в течение которого на пункте оборота отсутствуют ТЕ под простое, будем называть нулевым отрезком.

Для обеспечения минимального потребного количества ТЕ на сети увязка расписаний прибытия и отправления ТЕ не должна включать в себя нулевых отрезков. В противном случае, произойдет увеличение потребного количества ТЕ, а также среднего времени простоя, приходящегося на одну ТЕ.

После увязок расписаний прибытия и отправления по пункту оборота могут остаться неувязанными нитки графика по прибытию и/или по отправлению, которые будут являться выходом и входом маршрута следования ТЕ (далее МСТЕ) соответственно. Начало и конец МСТЕ могут находиться на разных пунктах оборота.

Маршрут следования транспортной единицы – это последовательность увязанных между собой маршрутов регулярных перевозок, совершаемых ТЕ.

Для обеспечения цикличности единого графика оборота, необходимо следить, чтобы на пунктах оборота либо не было ни единого входа и выхода МСТЕ, либо было хотя бы по одному входу и выходу МСТЕ. В случае, если количество входов и выходов МСТЕ на пункте оборота нечетное, значит в едином графике оборота один или несколько МСТЕ будут повторяться.

Таким образом алгоритм построения МСТЕ следующий: шаг 1 – рассматривается один пункт оборота, на временную шкалу наносятся расписания прибытия и отправления ТЕ; шаг 2 – выполняется увязка ниток прибытия и отправления ТЕ с учетом нормы времени на оборот ТЕ на данном пункте оборота; шаг 3 – повторяются шаги 1 и 2, пока не будут рассмотрены все пункты оборота; шаг 4 – выполняется увязка входов и выходов маршрутов следования ТЕ между всему пунктами в маршруты следования ТЕ.

После построения маршрутов следования ТЕ выполняется увязка всех МСТЕ в один замкнутый контур – единый график оборота ТЕ.

Для обеспечения возможности выполнения ТО и всех видов ремонта любой ТЕ, обращающейся на рассматриваемой сети, единый график оборота должен обеспечивать возможность захода ТЕ в депо. МСТЕ, обеспечивающие заход ТЕ в депо, будут называться ремонтные маршруты следования ТЕ. Частота включения маршрутов следования ТЕ с заходом в депо в единый график оборота ТЕ зависит от нормы периодичности выполнения технического осмотра, текущего ремонта и капитального ремонта для разных видов транспортных средств, а также от размера сети и потребного количества ТЕ, обслуживающих ее.

В случае, если сеть небольшая или количество обслуживающихся ТЕ невелико или частота выполнения ТО и различных видов ремонтов невысокая, то ремонтные МСТЕ могут включаться в суточный график оборота по мере необходимости.

В случае, если транспортная сеть большая, или оборачивается большое количество ТЕ, или периодичность выполнения ТО и разного вида ремонта низкая — ремонтные МСТЕ должны чаще повторяться в едином графике оборота ТЕ. Чтобы достигнуть равного межремонтного пробега ТЕ, необходимо обеспечивать равномерное чередование ремонтных МСТЕ и обычных.

Построение графика оборота ТЕ в соответствии с предложенным алгоритмом позволит минимизировать потребное количество ТЕ и их простоев, наглядно графически представить график оборота, что в свою очередь облегчит анализ последнего и выявление узких мест.

Рассмотрим решение поставленной задачи на примере транспортной сети, представленной на рис. 1. Пункты А, Б, В, Г, Д, Е — пункты оборота ТЕ на маршрутах: А—Б, А—В, Г—Д и Г—Е. Из рис. 1 видно, что маршруты А—Б и А—В имеют общий участок следования ТЕ, аналогично с маршрутами Г—Д и Г—Е. Пункт выполнения технического осмотра и всех видов ремонта, в данном примере будем называть депо, которое также является пунктом оборота ТЕ, на котором завязаны маршруты А—Депо, Депо—Б, Г—Депо, Депо—Е.

Важно отметить, что в рассматриваемом примере пункт выполнения ТО и ремонтов (депо) не примыкает ни к одному из пунктов оборота, следовательно, чтобы свести порожний пробег ТЕ к минимуму, маршрут следования ТЕ в депо должен частично дублировать один из маршрутов на сети и позволять ТЕ в середине обычного рейса уходить в депо. В рассматриваемом примере для простоты расчетов принято, что ТЕ могут уходить в депо только с маршрутов А—Б и Г—Е, однако при разветвленной транспортной сети, в ситуации, когда депо не примыкает ни к одной станции оборота, маршруты следования ТЕ в депо и обратно могут строиться с любого маршрута. Несмотря на то, что в данном примере не с каждого маршрута ТЕ может проследовать в депо, построение единого графика оборота все равно позволит любой ТЕ заходить в депо.

Можно отметить, что в расчетной схеме маршрут А—Депо дублирует маршруты А—Б и А—В, маршрут Депо—Б — дублирует маршрут А—Б. Маршрут Г—Депо дублирует маршруты Г—Д и Г—Е, маршрут Депо—Е дублирует маршрут Г—Е.

Исходные данные

График движения ТЕ по сети представлен в табл. 1, ТЕ не закреплены за маршрутами (то есть, по окончанию одного маршрута любая ТЕ может начать любой другой), норма времени на оборот ТЕ — 10 мин, в депо ежесуточно обязаны заходить ТЕ для выполнения ТО продолжительностью 6 часов, депо работает круглосуточно.

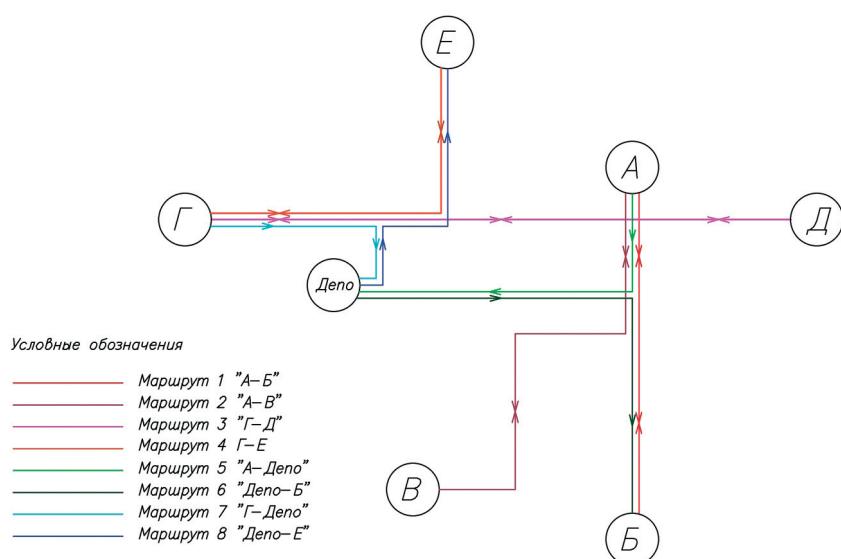


Рис. 1. Расчетная транспортная сеть

Е.В. Щербинина
 «ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОБОРОТА ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ
 В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ»

Таблица 1

График прибытия и отправления транспортных единиц на пункты оборота

Номер маршрута	Пункт отправления	Время отправления	Пункт назначения	Время прибытия
1	А	8:40	Б	11:10
		12:25		14:55
		17:00		19:30
		18:40		21:10
	Б	8:15	А	10:45
		12:30		15:00
		17:40		20:10
		18:40		21:10
2	А	8:20	В	10:45
		11:20		13:45
		15:00		17:25
		17:20		19:45
		19:05		21:30
	В	8:30	А	10:55
		11:40		14:05
		14:20		16:45
		17:30		19:55
		19:10		21:35
3	Г	9:00	Д	11:15
		11:20		13:35
		15:50		18:05
		19:00		21:15
	Д	9:10	Г	11:35
		11:50		14:15
		14:40		17:05
		18:50		21:05
4	Г	8:00	Е	9:00
		13:30		14:30
		18:25		19:25
	Е	8:20	Г	9:20
		13:50		14:50
		18:15		19:15
5	А	7:00	Депо	8:00
6	Г	19:25	Депо	19:55
7	Депо	16:30	Б	17:00
8	Депо	7:30	Е	8:00

Решение

Рассмотрим пункт оборота Д. На временную шкалу наносятся расписания прибытия и отправления ТЕ, затем определяются количество ТЕ, простояющих на данном пункте и нулевые отрезки. Данный этап решения представлен на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что наименьшее число ТЕ, простояющих на пункте оборота Д, составляет $K-1$, тогда $K-1=0$, откуда $K=1$. В этом случае максимальное количество ТЕ, простояющих на пункте оборота Д за расчетные сутки составит $K+1$ или две ТЕ.

Нулевым отрезком для пункта оборота Д, согласно рис. 2, будет следующий временной интервал: 9:10–11:15.

Далее выполняется увязка ниток прибытия и отправления ТЕ с учетом минимального времени на оборот, равного 10 минутам (то есть минимальное время между прибытием и отправлением ТЕ на пункт оборота должно быть не менее 10 минут). При увязке в целях исключения завышения потребного количества ТЕ также необходимо исключать возможность нахождения нулевых отрезков между двумя последовательно увязанными нитками. После увязки расписаний определяются входы и выходы маршрута следования ТЕ. Данный этап решения представлен на рис. 3. Для пункта оборота Д входом маршрута следования ТЕ будут расписания прибытия ТЕ 18:05 и 21:15, а выходом – 9:10.

Аналогично определяется количество ТЕ, простояющих на пункте оборота, увязываются расписания прибытия и отправления и определяются входы и выходы маршрутов следования ТЕ для остальных пунктов оборота, включая депо – рис. 4. При этом при увязке ниток графика по депо минимальное время между прибытием и отправлением ТЕ будет равняться норме времени выполнения технического осмотра или соответствующего вида ремонта, в рассматриваемом примере – 6 часов.

Далее выполняется увязка входов и выходов МСТЕ между всеми пунктами оборота, таким образом, чтобы единый график оборота включал ремонтные маршруты следования ТЕ, стрелочками с номерами отмечены начало и окончание МСТЕ (рис. 4).

Далее определяется последовательность включения маршрутов следования ТЕ в единый график оборота. Для рассматриваемого примера таких последовательностей будет две.

Первая: 2, 1, 6, 5, 3, 9, 8, 4, 8, 7; затем последовательность маршрутов будет постоянно повторяться. Данная последовательность имеет два ремонтных МСТЕ.

Вторая: 10, 15, 11, 13, 11, 14, 15, 11, 12. Полученный результат, удовлетворяет условию включения в единый график оборота хотя бы одного ремонтного МСТЕ.

Следует отметить, что в рассматриваемом примере сеть является связанной только через депо [7], где

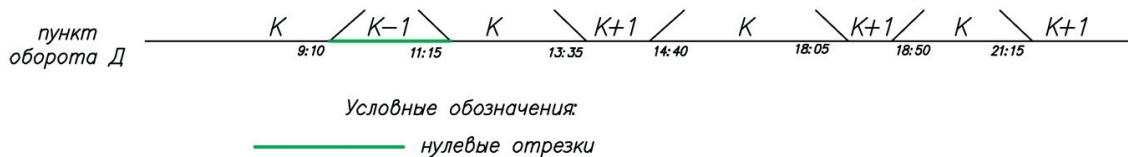


Рис. 2. Определение количества простояющих ТЕ и нулевых отрезков на пункте оборота Д

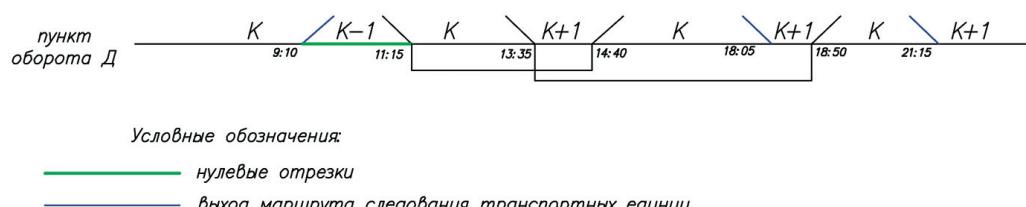


Рис. 3. Увязка расписаний прибытия и отправления ТЕ на пункте оборота Д, определение входов и выходов маршрутов следования ТЕ

Е.В. Щербинина
«ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОБОРОТА ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ
В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ»

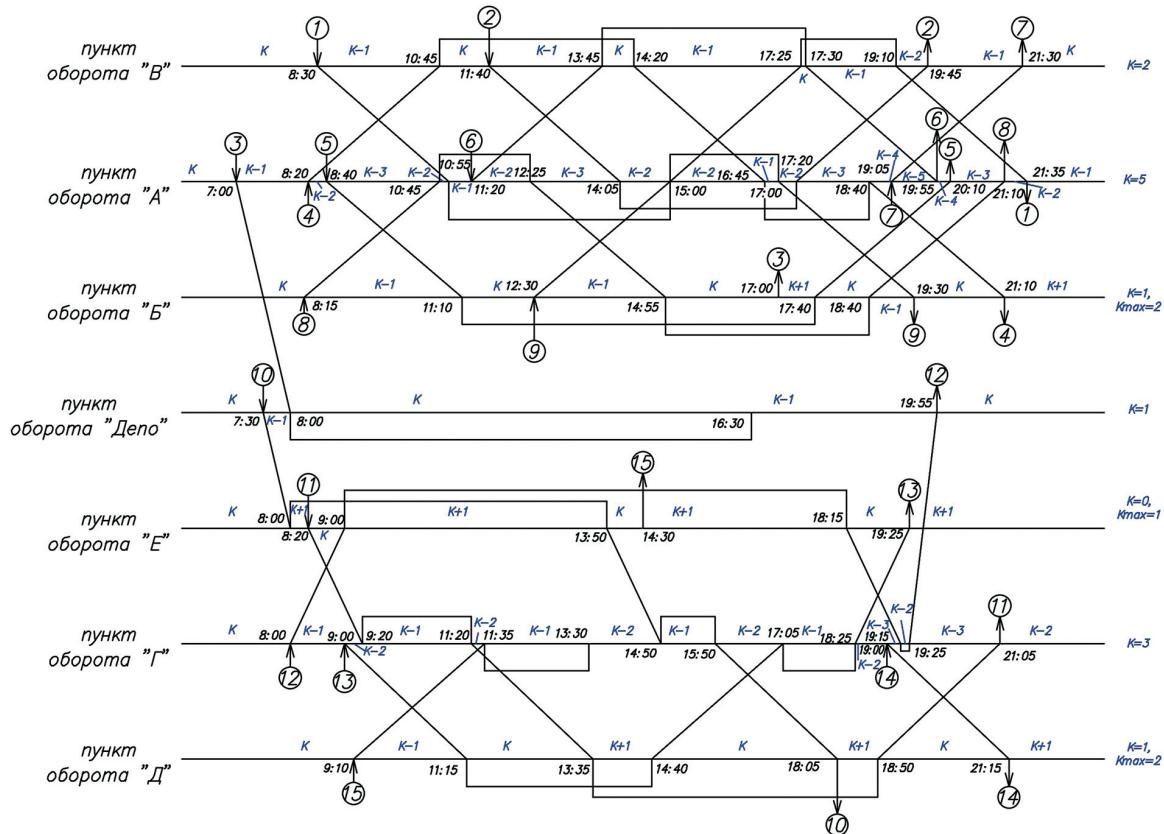


Рис. 4. Построение графика оборота ТЕ

маршруты А–Б, А–В, А–Депо, Депо–Б и маршруты Г–Д, Г–Е, Г–Депо, Депо–Е имеют связь только через депо, при заданном графике движения ТЕ, получилось два независимых единичных графика оборота, вследствие чего ТЕ одного графика оборота могут попасть на второй график оборота только если ТЕ, прибывающие в депо в 8:00, простоят сутки и отправляются по расписанию в 9:00, а ТЕ, прибывающие в 19:55 отправляются на следующий день в 16:30.

Для наглядности единый график оборота сведен в табл. 2.

Таким образом, одна ТЕ совершает полный оборот, состоящий из МСТЕ 2, 1, 6, 5, 3, 9, 8, 4, 8, 7 за 10 дней, следовательно, технический осмотр выполняется с каждой ТЕ раз в 10 дней. Одна ТЕ совершает полный оборот, состоящий из МСТЕ 10, 15, 11, 13, 11, 14, 15, 11, 12 также за 10 дней.

Потребный суточный парк ТЕ для заданной сети составит: $\sum K = 2 + 5 + 2 + 1 + 1 + 3 + 2 = 16$ ТЕ.

Следует отметить, что увязка расписаний прибытия и отправления ТЕ не влияет на потребный парк.

Вывод

Предложенная методика позволяет определить потребный парк подвижного состава и построить график оборота транспортных средств с минимальным потребным количеством ТЕ, обслуживающих заданную сеть, с учетом необходимости выполнения технического осмотра, всех видов ремонта и равномерным межремонтным пробегом ТЕ. Достоинством предложенной методики является ее универсальность — возможность применения на разных видах транспорта. Недостатком предложенного метода является высокая вариативность увязки маршрутов следования ТЕ, а также потребность в участии человека, в результате чего разработка графика оборота ТЕ в случае с большим количеством маршрутов и/или маленьким интервалом следования ТЕ и/или разветвленной сетью потребует больших затрат человека-часов.

Таблица 2

Единый график оборота транспортных единиц

Номер маршрута следования TE	Пункт отправления	Время отправления	Пункт назначения	Время прибытия
1	2	3	4	5
2	В	11:40	А	14:05
	А	17:20	В	19:45
1	В	8:30	А	10:55
	А	15:00	В	17:25
	В	19:10	А	21:10
6	А	11:20	В	13:45
	В	17:30	А	19:55
5	А	8:40	Б	11:10
	Б	17:40	А	20:10
3	А	7:00	Депо	8:00
	Депо	16:30	Б	17:00
9	Б	12:30	А	15:00
	А	17:00	Б	19:30
8	Б	8:15	А	10:55
	А	12:25	Б	14:55
	Б	18:40	А	21:10
4	А	8:20	В	10:45
	В	14:20	А	16:45
	А	18:40	Б	21:10
8	Б	8:15	А	10:55
	А	12:25	Б	14:55
	Б	18:40	А	21:10
7	А	19:05	В	21:30
10	Депо	7:30	Е	8:00
	Е	13:50	Г	14:50
	Г	15:50	Д	18:05
15	Д	9:10	Г	11:35
	Г	13:30	Е	14:30
11	Е	8:20	Г	9:20
	Г	11:20	Д	13:35
	Д	18:50	Г	21:05
13	Г	9:00	Д	11:15
	Д	14:40	Г	17:05
	Г	18:25	Е	19:25

Табл. 2. Окончание

1	2	3	4	5
11	Е	8:20	Г	9:20
	Г	11:20	Д	13:35
	Д	18:50	Г	21:05
14	Г	19:00	Д	21:15
15	Д	9:10	Г	11:35
	Г	13:30	Е	14:30
11	Е	8:20	Г	9:20
	Г	11:20	Д	13:35
	Д	18:50	Г	21:05
12	Г	8:00	Е	9:00
	Е	18:15	Г	19:15
	Г	19:25	Депо	19:55

Литература

1. Пазойский, Ю. О. Оптимизация параметров системы освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Пазойский Юрий Ошарович. - Москва, 2000. - 339 с. - EDN QDHWF. - Текст : непосредственный.
2. Копылова, Е. В. Оптимизация оборота составов по обеспечению ниток графика пригородного движения / Е. В. Копылова, П. А. Козлов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2020. - № 2. - С. 68-73.
3. Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций / В. Г. Сидоренко, Е. В. Копылова, А. И. Сафонов, М. А. Туманов. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2023. - Т. 9, № 1. - С. 33-48. - DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-01-33-48. - EDN ZIYEID.
4. Маркевич, А. В. Интеллектуальная система построения графика работы машинистов метрополитена / А. В. Маркевич, В. Г. Сидоренко. - Текст : непосредственный // Надежность. - 2023. - Т. 23, №3. - С. 63-72. - DOI 10.21683/1729-2646-2023-23-3-63-72. - EDN VZLBBY.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663049. Российская Федерация. Система оптимального управления оборотом поездных локомотивов «Лабиринт»: № 201561-981: заявл. 15.10.2015: опубликовано 09.12.2015 / П. А. Козлов, И. В. Иванов, А. А. Каляганов ; Общество с ограниченной ответственностью «Аналитические и управляющие системы на транспорте «Транспортный алгоритм». - EDN CQNHEW. - Текст : непосредственный.
6. Российской Федерации. Законы. Устав автомобилей и городского наземного электрического транспорта : федеральный закон от 08.11.2007 № 259-ФЗ в ред. от 19.10.2023 г. : принят Государственной Думой 18 октября 2007 года : одобрен Советом Федерации 26 октября 2007 года. - Текст : непосредственный // Собрание законодательства РФ. - 2007. - № 46. - Ст. 555.
7. Пазойский, Ю. О. Расчет маршрутов следования транспортных потоков в сети / Ю. О. Пазойский, Е. В. Щербинина. - Текст : непосредственный // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию БелИИЖТа - БелГУТа, Гомель, 16-17 ноября 2023 года. - Гомель : Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», 2023. - С. 264-267. - EDN GSWNHP.