

УДК 656.212.5

Совершенствование методики планирования работы сортировочной системы

В. В. Соляник

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: *Соляник В. В.* Совершенствование методики планирования работы сортировочной системы // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 436–446. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-436-446

Аннотация

Цель: Определение минимума времени нахождения транзитного вагона с переработкой на сортировочной станции, выявление оптимального вагонопотока с целью оптимизации загрузки технических устройств станции. **Методы:** Проведено описание межоперационных простоев теорией массового обслуживания, применяется имитационное моделирование для воссоздания технологических процессов на сортировочной станции. **Результаты:** В результате анализа среднего времени нахождения вагона на станции была построена модель работы сортировочной станции с учетом месячной неравномерности поступления перерабатываемого потока. **Практическая значимость:** С помощью полученных данных можно улучшить долгосрочное планирование работы сортировочной станции, определить оптимальную загрузку технических средств станции. Изменяя постоянные параметры станции (число путей) и переменные (число бригад пункта технического осмотра, количество маневровых локомотивов), можно гибко реагировать на потребное освоение вагонопотока станцией.

Ключевые слова: Время нахождения вагона на станции, показатели работы станции, имитационное моделирование, оптимальный поток, технические средства, переработка вагонопотока.

Введение

В настоящее время с учетом реализации приоритетов развития холдинга «РЖД» по ключевым показателям эффективности компании следует переходить от оценок качества работы железных дорог по принципу «сравнение с предыдущим периодом» к оценкам показателей в зависимости от технологического уровня и объемов работы в сравнимые периоды времени [1]. Расчет совокупности ключевых показателей должен вестись снизу вверх, а не сверху вниз в следующей последовательности: линейный уровень, дорожный уровень и уровень дирекции [2]. Наблюдаемая сегодня проблема слабой изученности взаимосвязи технологии и

технического оснащения станции объективно требует научно-методологического решения.

Современный технологический процесс работы сортировочной станции содержит две составляющие – последовательность операций и нормы времени на их выполнение [3]. Для эффективного оперативного управления работой станции этого недостаточно. Требуется третья составляющая – создание оптимальных условий. Несоблюдение такого условия вызывает задержки поездов перед станциями из-за несвоевременного их приема и не позволяет реализовать максимальные возможности станций, в первую очередь пропускную и перерабатывающую способности. В настоящее время особенно остро стоит проблема перенасыщения инфра-

структуры ОАО «РЖД» вагонами различных собственников [4]. На сети эксплуатируются 1 070 169 вагонов. Стоит отметить, что с 2011 по 2016 г. эксплуатационная длина [5–10] инфраструктуры увеличилась на 1,3 % (с 85 166 до 86 296 км). Но эта цифра никак не сопоставима с увеличением доли вагонов различных собственников. Доказано, что для перевозки грузов достаточно 800 тыс. вагонов [11].

Как видно на рис. 1, с 2003 по 2016 г. доля независимых собственников владельцев подвижного состава в результате реформирования железнодорожного рынка транспортных услуг увеличилась с 29 до 88 %. РЖД разрешила скупать вагоны с целью осуществления операторской деятельности, что привело к бурному росту покупок вагонов. Однако инфраструктура такими же темпами не увеличивалась, и это сказывается в дисбалансе пропускной способности и численности средств для перевозки, приводя к снижению эффективности работы станций, выраженной в простоях. Происходит увеличение сборных отправок грузов вместо маршрутных к большому количеству грузополучателей.

Неравномерность подвода поездов сказывается на всех технических средствах станции, вызывая межоперационные простои, нестабильную загрузку объектов инфраструктуры станции, создание излишних резервов, необходимых для погашения пиков загрузки станции.

Виды неравномерности на сортировочной станции

Ключевым фактором, оказывающим негативное воздействие на станцию, является неравномерность. Под неравномерностью понимают объективное свойство сложных систем, связанное с множеством случайных процессов, которые происходят в деятельности железнодорожного транспорта. Выделяют годовую, месячную, внутринедельную, посуточную и внутрисуточную неравномерность. Причин ее появления множество, начиная от того, что предприятия работают 5 дней в неделю, а железная дорога все 7 дней. В результате может произойти сгущение

сдачи продукции в отчетные часы и, как следствие, волнообразное формирование поездов на станции отправления. Неравномерности свойственен «эффект домино», когда первый фактор не согласуется с равномерным планом отправки, который впоследствии ведет к множеству других факторов, накладываемых друг на друга. Понять причину неравномерности на каком-либо этапе перевозки невозможно, так как цепочка причин стала не отслеживаемой из-за огромного их множества. Принято выделять следующие группы причин неравномерности:

1) экономические – колебания выпуска продукции, изменяющиеся места спроса и предложения продукции, развитие городов, изменение конъюнктуры рынка и др.;

2) технические – случайный характер поездобразования на станциях формирования, отказ технических устройств, маршрутная перевозка грузов и др.;

3) организационные – предоставление «окон» для ремонта технических средств, режимы работы заводов и предприятий, ожидание поездного локомотива из депо, пассажирское движение и др.

Как уже отмечалось, сгущенный поездопоток в отдельные часы из-за неравномерности требует резервы [12, 13] для освоения. Поэтому возрастают потребная пропускная и перерабатывающая способности станции. Факторы неравномерности стоит учитывать при определении максимальных размеров движения в процессе разработки графика, при оценке количества бригад пункта технического осмотра, пункта коммерческого осмотра, локомотивных бригад, поездных и маневровых локомотивов.

Рассчитывая коэффициент неравномерности, следует понимать, что его занижение ведет к понижению уровня надежности технического средства, а, следовательно, и железнодорожного транспорта в целом, а завышение – к необходимости содержания неиспользуемых мощностей:

$$K_{\text{нер}}^{\text{год}} = \frac{U_{\text{пер мес}}^{\text{max}}}{U_{\text{пер год}}^{\text{сред}}};$$

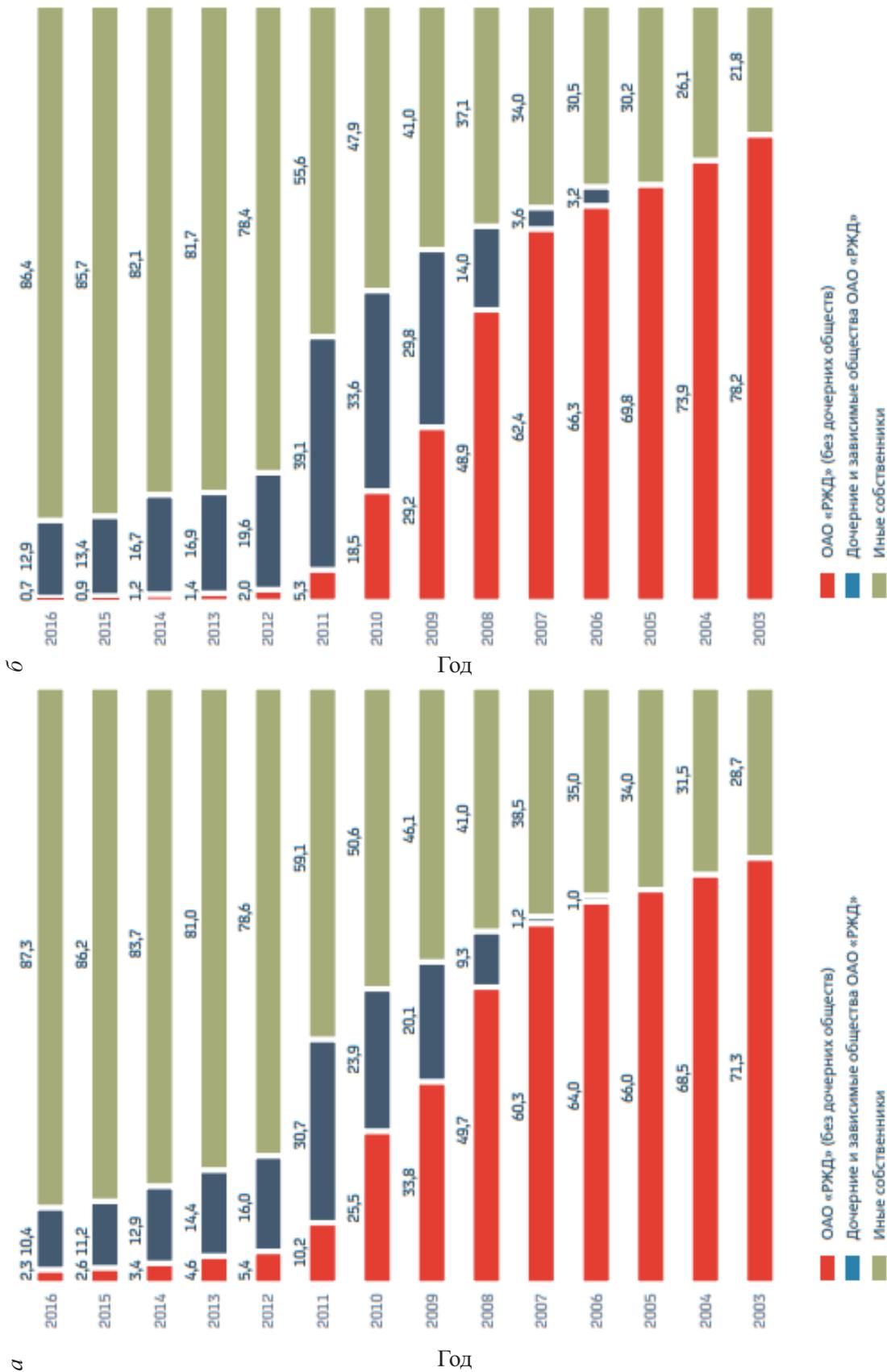


Рис. 1. Структура российского рынка оперирования грузовыми вагонами по объемам перевозок (а) и объемам грузооборота (б) в 2003–2016 гг. (%) (составлено с учетом [10, 11])

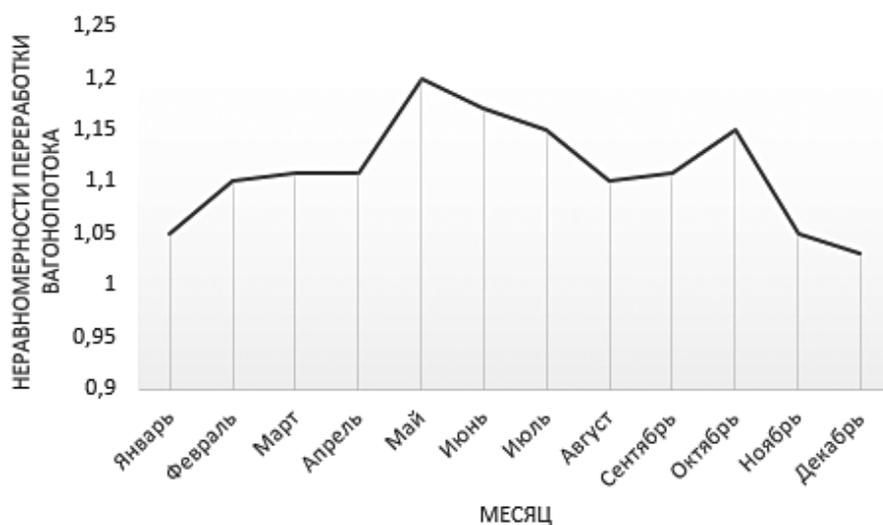


Рис. 2. Среднегодовое колебание объемов переработки вагонов по станции Санкт-Петербург Сортировочной – Московской

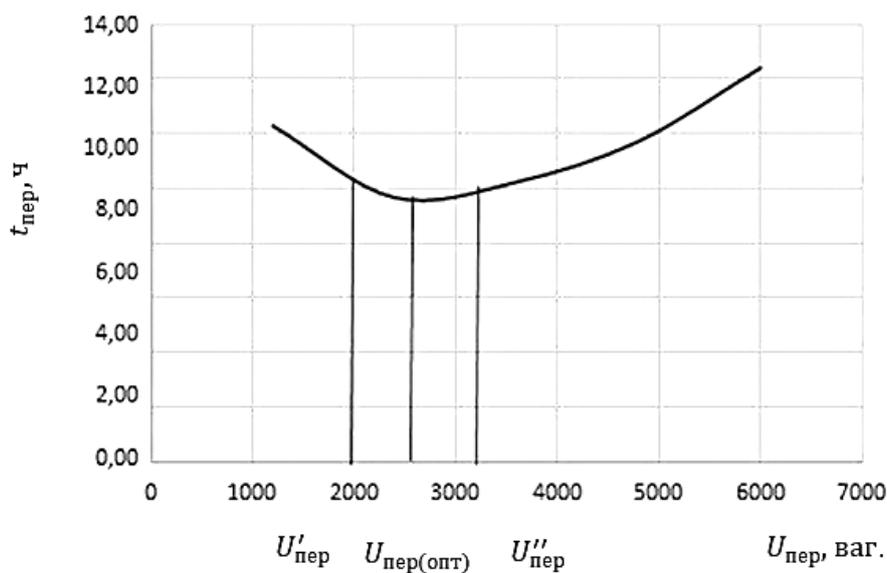


Рис. 3. Время пребывания вагона с переработкой на станции

где $U_{\text{пер(мес)}}^{\text{max}}$, $U_{\text{пер(год)}}^{\text{сред}}$ – среднегодовые и максимальные объемы работы станции;

ваемый объем, $U_{\text{пер(max)}}$ – максимальный перерабатываемый объем.

$$U_{\text{пер(min)}} < U_{\text{пер}} \cdot K_{\text{нер}} < U_{\text{пер(max)}},$$

здесь $U_{\text{пер(min)}}$ – минимальный объем переработки, $U_{\text{пер}} \cdot K_{\text{нер}}$ – фактический перерабаты-

Время нахождения вагона на станции

Основным показателем работы станции является время нахождения вагона на станции.

Уменьшение этого времени ведет к сокращению оборота вагона и, следовательно, к более эффективному использованию ресурсов.

Среднее время нахождения транзитного вагона на станции с переработкой

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{оп}} + t_{\text{р}} + t_{\text{нак}} + t_{\text{оф}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{от}} + t_{\text{о}} + t_{\text{проч}},$$

где $t_{\text{пр}}, t_{\text{р}}, t_{\text{ф}}$ – время нахождения вагона под операциями: прибытие, расформирование, формирование соответственно; $t_{\text{оп}}, t_{\text{оф}}, t_{\text{от}}$ – время ожидания соответствующих операций из-за занятости технических средств; $t_{\text{нак}}$ – время нахождения вагона под накоплением; $t_{\text{проч}}$ – время на прочие затраты времени.

В итоге получаем 4-й аргумент, $t_{\text{техн}}$ является суммой $t_{\text{пр}}, t_{\text{р}}, t_{\text{ф}}$, а $t_{\text{о}}$ суммой $t_{\text{оп}}, t_{\text{оф}}, t_{\text{от}}$. Тогда $t_{\text{пер}}$ – это функция, состоящая из четырех аргументов:

$$t_{\text{пер}} = f(t_{\text{техн}}, t_{\text{ож}}, t_{\text{нак}}, t_{\text{проч}}), \quad (1)$$

$$t_{\text{нак}} = \frac{cmk}{U_{\text{пер}}}. \quad (2)$$

Для расчета ожиданий Н. Н. Шабалин использовал формулы [14]

$$t_{\text{оп}} = \frac{Nt_{\text{г}}^2(v_{\text{вх}}^{2,5} + v_{\text{г}}^2)}{48 - 2Nt_{\text{г}}}, \quad (3)$$

$$t_{\text{оф}} = \frac{Nt_{\text{ф}}^2(1 + v_{\text{ф}}^2)}{48I - 2Nt_{\text{ф}}}, \quad (4)$$

$$t_{\text{от}} = \frac{NI_{\text{ф}}^2(1 + v_{\text{о}}^2)}{48 - 2NI_{\text{о}}}. \quad (5)$$

В (1)–(5) $U_{\text{пер}}$ – вагонопоток, следующий в переработку; N – количество поездов, перерабатываемых за сутки; k – число назначений поездов, формируемых на станции; c – параметр накопления; $v_{\text{вх}}, v_{\text{г}}, v_{\text{ф}}, v_{\text{о}}$ – коэффициент вариации интервалов прибытия поездов в расформирование, горки, формирование, отправление; $I_{\text{о}}, I_{\text{ф}}$ –

средние интервалы соответственно отправления грузовых поездов и их формирования.

В точке $U_{\text{пер(опт)}}$ видно оптимальное время, затрачиваемое на переработку вагонопотока, т. е. минимальное время нахождения вагона на станции при имеющихся техническом оснащении и технологии. В точке $U_{\text{пер}}''$, которая находится правее от $U_{\text{пер(опт)}}$, резко увеличивается время на переработку вагона, которое получается за счет того, что станция начинает не справляться с нарастающим вагонопоток и возрастает время ожидания вагона для операций, проводимых с ним. При большом поступлении вагонов на станцию время на переработку будет расти пропорционально количеству вагонов, и вскоре станция остановит работу и не сможет перерабатывать вагоны. При развитии станционных и технологических средств график сдвигается вправо (рис. 4), тем самым увеличиваются возможности станции переработать вагонопоток при минимальных простоях. Также стоит отметить, что при небольших объемах необходимо подводить замыкающие группы, тем самым снижать время простоя в сортировочном парке. При больших объемах необходимо сконцентрироваться на ускорении расформирования и формирования, тем самым сокращать время в ожидании операций.

Оптимальный режим работы станции определяют для того, чтобы минимизировать расходы на маневровую работу. Он выявит моменты, при которых имеется перерасход использования маневровых устройств, применяющихся с учетом повышенных загрузок. Поэтому эффективность от этих устройств снижается, так как загрузка одного элемента не может полностью компенсировать другой элемент. Если же станция работает не в оптимальном режиме, то на эксплуатационные затраты станции приходится больше, чем в оптимальном режиме, а время, затрачиваемое на обработку вагона, увеличивается.

Техническая характеристика оценивает эксплуатационные возможности станции, а также возможности по освоению тех или иных объемов вагонопотока. Она связывает воедино коли-

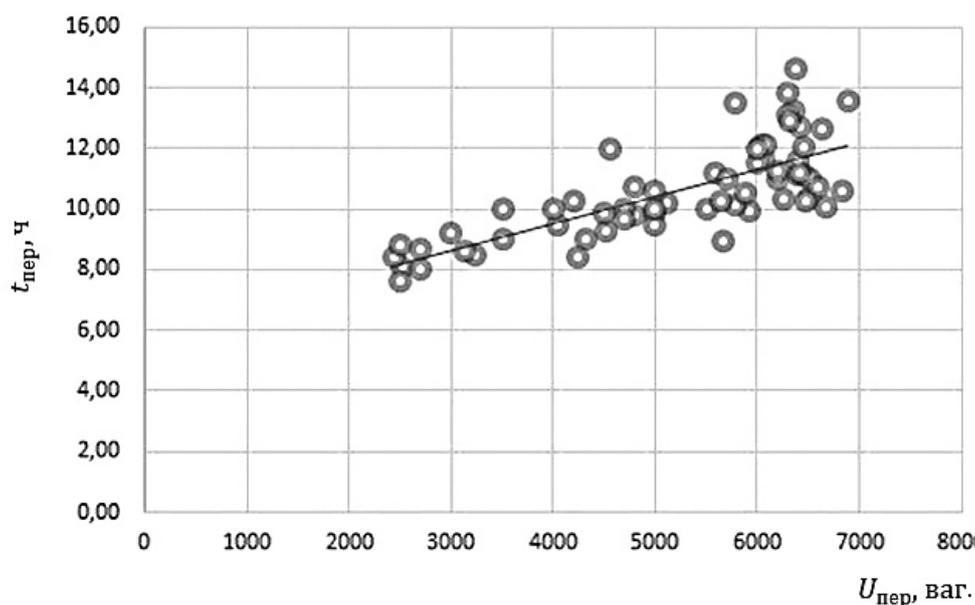


Рис. 4. Зависимость времени нахождения транзитного вагона с переработкой от объема работы станции Санкт-Петербург Сортировочной – Московской

чество и качество работы станции, техническое оснащение и технологию.

Понятие «перерабатывающая способность» не дает связи с качественной работой. Такие функции можно построить для каждого маневрового устройства. Техническая характеристика позволяет установить себестоимость переработки одного вагона.

В технической характеристике станции учитываются количественные (количество вагонов, погруженных в сутки) и качественные (оборот вагона) показатели работы станции, а также техническое оснащение и технология работы. В свою очередь, этот график раскладывается на два графика.

Первый график описывает зависимость времени переработки вагона в зависимости от накопления вагонов в сортировочном парке, второй – зависимость времени переработки вагона в зависимости от времени ожидания производства технологических операций (рис. 5–7).

Важнейшей задачей совершенствования планирования работы станции является анализ ее состояния по освоению вагонопотока. Чем точнее определить это состояние, тем большими

количествами методов можно нормализовать состояние поточности на станции. Необходимо стремление к доведению всех операций на станции до состояния конвейера, когда на любом моменте операции можно точно указать время операции и время ее ожидания. В настоящее время существуют два способа освоения ваго-

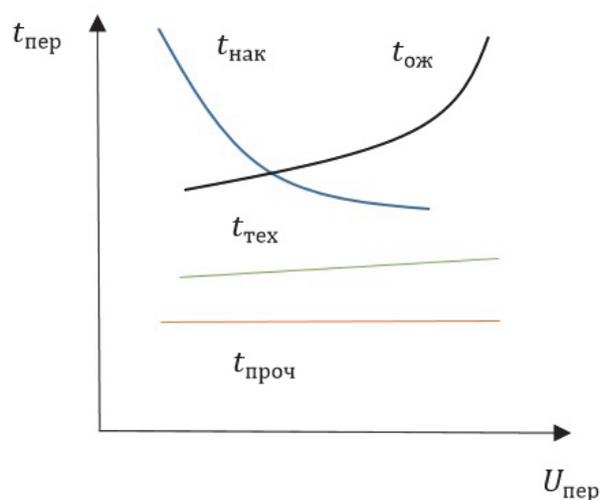


Рис. 5. Зависимость времени накопления и времени ожидания от объема переработки

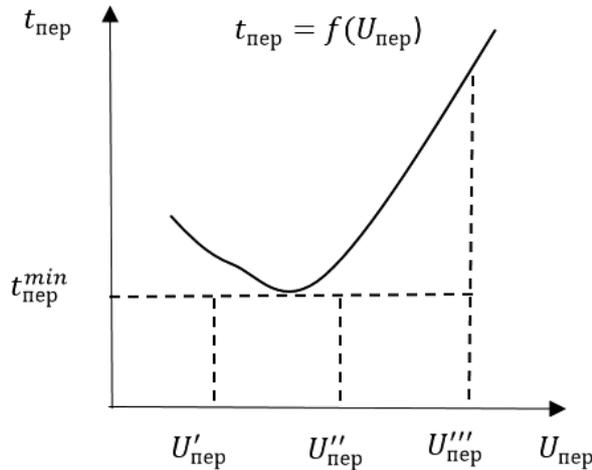


Рис. 6. Изменение времени нахождения транзитного вагона с переработкой в зависимости от объема переработки

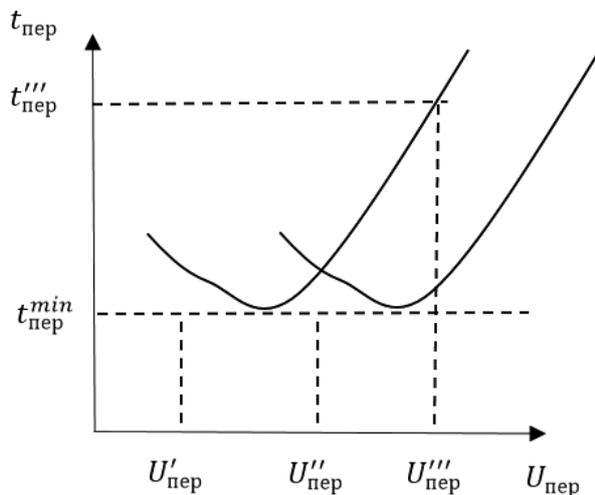


Рис. 7. Изменение технических и технологических возможностей станции

но потока: изменение путевого развития и изменение технологии.

Первый способ используется часто, но он несет большие капитальные затраты. Второй способ применяется реже. Внедрение [14] «структурных технологий» позволяет управлять элементами свойств структуры системы, целенаправленно приближая их к оптимальным при различных состояниях системы. Классификации наполняемости станционной системы можно также интерпретировать через процент загрузки: 1) до 30% – сниженный режим, при

котором необходимый темп работы ниже оптимального; 2) 30–70% – оптимальный режим загрузки, который характеризуется межоперационными простоями; 3) 70–100% – режим очень высокой загрузки с последующим прекращением маневренности на станции.

При 2-й ситуации применяются такие рычаги как переброска локомотивов из одного района управления в другой, переброска персонала между участками работ, происходит временное изменение специализации парка приема и парка отправления, рассматриваются возможности занятия вытяжных путей и ходовых; при 3-й ситуации – изменение специализации парков станции, использование концов путей, грузовых фронтов.

Также, для того чтобы оптимальный режим поддерживался, необходимо выдерживать величину, обратно пропорциональную времени обработки, под названием темп:

$$\frac{1}{t_r} \geq \frac{B_{пр}}{t_{пр}} \geq \frac{1}{J_{пр}^p} \text{ – условие оптимального режима (прилегающий участок – парк приема – горка);}$$

Здесь t_r – горочный технологический интервал, мин; $B_{пр}$ – число бригад пункта технического осмотра (пункта коммерческого осмотра или станционного технологического центра), одновременно работающих по операции, определяющей время на обработку состава по прибытию;

$t_{пр}$ – время на обработку состава в парке приема; $J_{пр}^p$ – расчетный интервал прибытия поездов в расформирование; $J_{от}^p$ – расчетный интервал отправления поездов своего формирования; $B_{от}$ – число бригад ПТО (ПКО или СТЦ), одновременно работающих по операции, определяющей время на обработку состава по отправлению;

$t_{от}$ – время на обработку состава в парке отправления; $M_{ф}$ – число маневровых локомотивов, одновременно работающих на формировании поездов; $t_{ф}$ – средняя продолжительность формирования состава и перестав-

новка в парк отправления; J_n^p – расчетный интервал накопления составов.

Кроме того, существуют три метода, позволяющих описать работу сортировочной станции:

– аналитический, который, в свою очередь, делится на детерминированный и вероятностный способы. В первом производится расчет по аналитическим формулам, а во втором – расчет по формулам теории массового обслуживания;

– графический, который заключается в построении суточного плана графика работы станции;

– метод имитационного моделирования, имеющий наименьшую погрешность по отношению к остальным, поэтому он получил такое широкое распространение.

Особого внимания заслуживает имитационное моделирование. Его особенность в том, что реальный объект заменяется компьютерной моделью, которая предусматривает проведение эксперимента [15].

На рис. 8 показана сеть элементов обслуживания, имитирующая работу станции. Применение метода имитационного моделирования позволяет исследовать работу не только отдельной станции, но и транспортно-логистического узла в целом [16], а также терминальных и железнодорожных сетей [17, 18].

Заключение

Зависимость времени нахождения транзитного вагона с переработкой на станции от объема переработанных вагонов позволяет:

1) выявить режимы работы станции и служить рекомендательными положениями в области превентивных мер по работе сортировочной станции;

2) установить соответствие технического развития станции объему перерабатываемых вагонов по критерию минимизации времени нахождения вагона на станции;

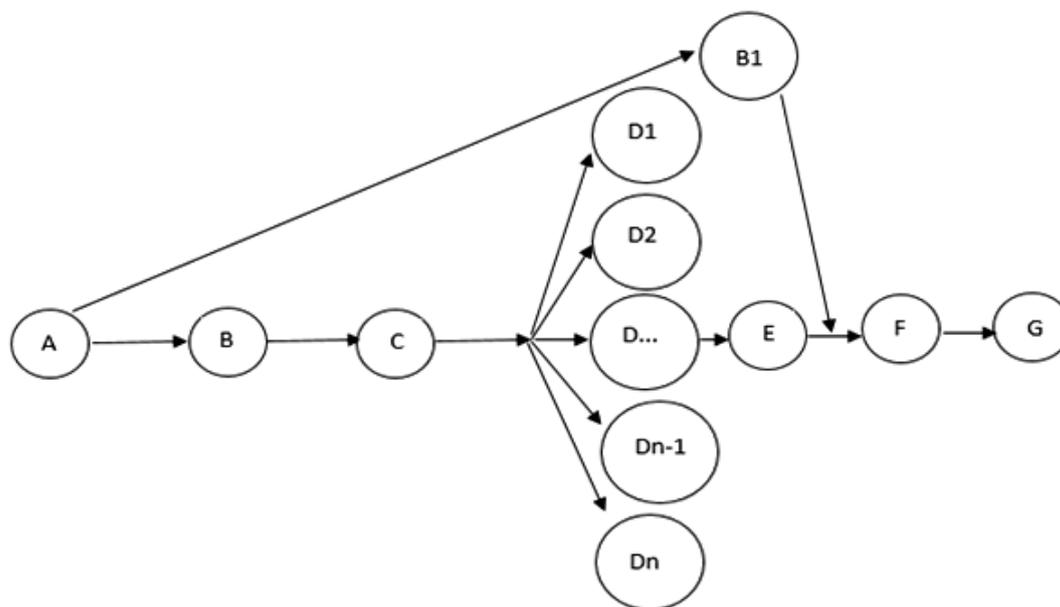


Рис. 8. Сеть элементов обслуживания, имитирующая работу станции:

A – этап приема поездов с прилегающего участка; B – этап технического осмотра в парке приема; C – этап расформирования; D_{n-1} – этап окончания формирования на предпоследнем пути; D_n – этап окончания формирования на последнем пути; E – этап обработки состава своего формирования в парке отправления; F – этап обеспечения поездов локомотивами; G – этап отправления поездов на прилегающий участок; B1 – этап обработки транзитных поездов

3) с экономической точки зрения оценить себестоимость переработки вагона в совокупности с долями себестоимости, приходящимися на сортировочную станцию;

4) на этапе разработки плана формирования обеспечить определение минимального времени нахождения вагонов, чтобы скорректировать этот план под техническое оснащение и технологию станций, располагающихся на полигоне (выбор вариантов с наименьшим числом переработок);

5) осуществить регулируемость транзитности вагонопотоков (равномерную загрузку станций сети);

6) обеспечить текущее и долгосрочное планирование работы станции;

7) определить рациональную загрузку технических устройств;

8) интенсифицировать эксплуатационную деятельность.

Библиографический список

- Шенфельд К. П. О показателях качества организации перевозочного процесса / К. П. Шенфельд // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 64–67.
- Лисогурский О. Н. Современные подходы к техническому нормированию работы железной дороги / О. Н. Лисогурский // Вісн. Дніпропетровськ. нац. ун-ту залізнич. транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – № 19. – С. 109–112.
- Левин Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом / Д. Ю. Левин. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2008. – 625 с.
- Rzd-partner.ru: информ. агентство. – URL : <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/v-iyune-2017-goda-park-vagonov-na-seti-rzhd-sokratilsya-na-2-6-posravneniyu-s-iyunem-2016-goda> (дата обращения : 04.05.2021).
- Отчетность компании ОАО «РЖД». – URL : http://annrep.rzd.ru/?layer_id=5182&STRUCTURE_ID=4200 (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2012.rzd.ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2013.rzd.ru/ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2014.rzd.ru/ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2015.rzd.ru/ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2016.rzd.ru/ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- Хусаинов Ф. И. К вопросу об оптимальном количестве вагонов на сети железных дорог / Ф. И. Хусаинов // Материалы к докладу на экспертном совете ФАС 26.03.2014 г. – URL : http://www.hse.ru/data/2014/04/03/.../doklad_husainov_fas26032014.pdf (дата обращения : 15.05.2016).
- Сотников Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на требуемую пропускную способность участков / Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд // Вестн. Науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта. – 2011. – № 5. – С. 3–9.
- Бородин А. Ф. Комплексные решения проблем развития инфраструктуры и перевозочных ресурсов / А. Ф. Бородин // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 1 (68). – С. 6–17.
- Козлов П. А. Теоретические основы, организации формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии : автореф. дис. ... докт. техн. наук / П. А. Козлов. – М. : МИИТ, 1987. – 46 с.
- Долгоруков Д. С. Моделирование продвижения вагонопотоков по сортировочным станциям / Д. С. Долгоруков, Т. Н. Каликина // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2013. – № 1 (1). – С. 81–84.
- Покровская О. Д. Терминалистика – организация и управление в транспортных узлах / О. Д. Покровская, Е. К. Коровяковский // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2016. – Т. 13. – Вып. 4 (49). – С. 509–520.
- Покровская О. Д. Определение параметров терминальной сети региона (на примере Кемеровской области) / О. Д. Покровская // Транспорт Урала. – 2012. – Вып. 1 (32). – С. 93–97.

18. Титова Т. С. Междисциплинарное положение теории терминалистики / Т. С. Титова, О. Д. Покровская // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2018. – Т. 15. – Вып. 2. – С. 248–260.

Дата поступления: 09.09.2021
Решение о публикации: 13.09.2021

Контактная информация:

СОЛЯНИК Владимир Владимирович – аспирант; mister.solianik@yandex.ru

Improvement of the planning method of the sortation system

V. V. Solyanik

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Solyanik V. V. Improvement of the planning method of the sortation system. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 436–446. (In Russian)
DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-436-446

Summary

Objective: Determination of the minimum time spent by a transit car with processing at the marshalling yard, identification of the optimal car flow in order to optimize the loading of the station's technical devices. **Methods:** The description of interoperational downtime is carried out by the theory of queuing, simulation modeling is used to recreate technological processes at the marshalling yard. **Results:** As a result of the analysis of the average time spent by the car at the station, a model of the marshalling yard was built, taking into account the monthly irregularity of the flow of the processed flow. **Practical importance:** With the help of the obtained data, it is possible to improve the long-term planning of the work of the sortation system, to determine the optimal load of the station's technical means. By changing the station's constant parameters (the number of tracks) and variables (the number of maintenance crews, the number of shunting locomotives), it is possible to respond flexibly to the required development of the car traffic made by the station.

Key words: Time spent by a car at the station, station performance indicators, simulation, optimal flow, technical means, processing of car traffic.

References

1. Shenfeld K. P. O pokazatelyakh kachestva organizatsii perevozochnogo protsesssa [Quality performance indicators of transportation process management]. *Zheleznodorozhniy transport [Railway transport]*, 2011, no. 3, pp. 64–67. (In Russian)

2. Lisogurskiy O. N. Sovremenniye podkhody k tekhnicheskomu normirovaniyu raboty zheleznoy dorogy [Modern approaches to technical rate setting

of railway operation]. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна [Proceedings of Lazarian Dnepropetrovsk National University of Railway Transport]*, 2007, no. 19, pp. 109–112. (In Russian)

3. Levin D. Yu. *Teoriya operativnogo upravleniya perevozochnym protsessom [The theory of operational control over transportation process]*. Moscow, Uchebnometodicheskiy tsentr po obrazovaniyu

na zheleznodorozhnom transporte [Training and Methodology Centre for Railway Transport] Publ., 2008, 625 p. (In Russian)

4. *Rzd-partner.ru: news agency*. Available at: <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/v-iyune-2017-goda-park-vagonov-na-seti-rzhd-sokratilsya-na-2-6-po-sravneniyu-s-iyunem-2016-goda/> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

5. *Otchetnost' kompanii OAO "RZHD" [Reporting of the company JSC "Russian Railways"]*. Available at: http://annrep.rzd.ru/?layer_id=5182&STRUCTURE_ID=4200 (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

6. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2012.rzd.ru/> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

7. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2013.rzd.ru/ru> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

8. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2014.rzd.ru/ru> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

9. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2015.rzd.ru/ru> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

10. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2016.rzd.ru/ru/> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

11. Khusainov F. I. K voprosu ob optimal'nom kolichestve vagonov na seti zheleznykh dorog [To the question of the optimal number of cars on the railway network]. *Materials for the report at the expert council of the Federal Antimonopoly Service on March 26, 2014*. Available at: http://www.hse.ru/data/2014/04/03/.../doklad_husainov_fas26032014.pdf (accessed: May 15, 2016). (In Russian)

12. Sotnikov E. A. & Shenfeld K. P. Neravnomernost' gruzovykh perevozok v sovremennykh usloviyakh i eyo vliyaniye na potrebnuyu propusknuyu sposobnost' uchastkov [Freight traffic irregularity in the present context and its influence on the required train-handling capacity of sections]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta transporta [Proceedings of Research and Development Institute of Railway Transport]*, 2011, no. 5, pp. 3–9. (In Russian)

13. Borodin A. F. Kompleksnyye resheniya problem razvitiya infrastruktury i perevozhnykh resursov [Com-

plex solutions for the problems of infrastructure development and transportation resources]. *Mir transporta [The World of Transport]*, 2017, vol. 15, no. 1, pp. 6–17. (In Russian)

14. Kozlov P. A. *Teoreticheskiye osnovy, organizatsionniye formy, metody optimizatsii gibkoy tekhnologii transportnogo obsluzhivaniya zavodov chernoy metallurgii [Theoretical foundations, organizational forms, optimization methods of transport servicing flexible technology of iron and steel works]*. Diss. D. Engineering, Moscow. MIIT [Moscow State University of Railway Engineering] Publ., 1987, 46 p. (In Russian)

15. Dolgoruk D. S. & Kalikina T. N. Modelirovaniye prodvizheniya vagonopotokov po sortirovochnym stantsiyam [Modeling of car traffic volume movement along marshaling yards]. *Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona [Transport of Asian-Pacific region]*, 2013, no. 1 (1), pp. 81–84. (In Russian)

16. Pokrovskaya O. D. & Koroviakovskii E. K. Terminalistika – organizatsiia i upravlenie v transportnykh uzlakh [Terminalistics: organisation and management in transportation hubs]. *Izvestiia Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniia [Proceedings of Petersburg Transport University]*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University], 2016, vol. 13, iss. 4 (49), pp. 509–520. (In Russian)

17. Pokrovskaya O. D. Opredeleniye parametrov terminalnoy sety regiona (na primere Kemerovskoy oblasti) [Determination of parameters of terminal network (by the example of the Kemerovo region)]. *Transport Urala [Ural Transport]*, 2012, no. 1 (32), pp. 93–97. (In Russian)

18. Titova T. S. & Pokrovskaya O. D. Mezhdistsiplinarnoye polozheniye teorii terminalistiki [Interdisciplinary position of the theory of terminalistics]. *Izvestiia Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniia [Proceedings of Petersburg Transport University]*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2018, vol. 15, iss. 2, pp. 248–260. (In Russian)

Received: September 09, 2021

Accepted: September 13, 2021

Authors' information:

Vladimir V. SOLYANIK – Postgraduate Student; mister.solianik@yandex.ru