

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ И УБОРКИ ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ С НИЗКИМ ПАССАЖИРОПОТОКОМ



В.Г. Сидоренко



Е.В. Копылова

В статье рассматриваются вопросы текущего содержания и уборки остановочных пунктов на железнодорожном транспорте и других аналогичных работ, качество выполнения которых оказывает значительное влияние на уровень оценки деятельности ОАО «РЖД». Предложена технология обслуживания остановочных пунктов с низким пассажиропотоком мобильными бригадами. Выполнена математическая постановка соответствующей задачи оптимизации.

Ключевые слова: остановочный пункт, мобильная бригада, график работы мобильной бригады, текущее содержание и уборка

EDN: SSJVNН

Повышению качества обслуживания пассажиров и их комфорта не только в самих транспортных средствах, но и на объектах пассажирской инфраструктуры, к которым относятся транспортно-пересадочные узлы (ТПУ), вокзальные комплексы и остановочные пункты (ОП), уделяется большое внимание в деятельности ОАО «РЖД». Качество выполнения услуг, предоставляемые на территории ОП,

к которым относятся текущее содержание, а также уборка пассажирских обустройств с низким пассажиропотоком, оказывают значительное влияние на уровень оценки деятельности ОАО «РЖД» [1;2].

Пассажирские обустройства входят в состав объектов пассажирской инфраструктуры. Перечисленные объекты предназначены для посадки-высадки пассажиров в транспортные средства, ожидания посадки,

Сидоренко Валентина Геннадьевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), Почетный работник сферы образования Российской Федерации, действительный член Российской академии транспорта и Академии электротехнических наук Российской Федерации. Область научных интересов: внедрение цифровых технологий в управление технологическими процессами и бизнес-процессами планирования, управления и обучения на транспорте, создание интеллектуальных систем управления с целью повышения эффективности автоматизированного управления этими процессами, создание цифровых двойников транспортных систем. Автор 265 научных работ. Имеет один патент на изобретение.

Копылова Екатерина Витальевна, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация перевозок на железнодорожном транспорте, управление транспортными процессами, логистика пассажирских перевозок, организация работы вокзальных комплексов и транспортно-пересадочных узлов, стандартизация и сертификация услуг, качество транспортных услуг. Автор 64 научных работ.

Туманов Михаил Андреевич, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация перевозок на железнодорожном транспорте, управление транспортными процессами, качество транспортных услуг, цифровые технологии, интеллектуальные системы управления на транспорте. Автор 12 научных работ.

Копылов Василий Артемович, студент Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация перевозок на железнодорожном транспорте, управление транспортными процессами, логистика пассажирских перевозок, организация работы вокзальных комплексов и транспортно-пересадочных узлов. Автор четырех научных работ.

оказания сопутствующих и дополнительных услуг пассажирам и посетителям в соответствии с классом или категориями объекта.

Категорирование ОП осуществляется на основании размера среднесуточного пассажиропотока [3]:

- категория А — свыше 7000 чел/сут;
- категория В — от 4000 до 7000 чел/сут;
- категория С — от 500 до 4000 чел/сут;
- категория D — менее 50 чел/сут.

При присвоении классов вокзальным комплексам (внеклассный, I, II, III, IV, V класс) учитывается ряд показателей: число отправленных пассажиров в каждом виде сообщений, общая площадь (помещений, платформ и привокзальных территорий), средний доход с единицы площади.

Классификация ТПУ базируется на классификации ОП и вокзальных комплексов, а значит также учитывает размер обслуживаемого пассажиропотока.

Помимо процессов обслуживания пассажиров и посетителей пассажирская инфраструктура выполняет важную имиджевую функцию для железнодорожного транспорта — это первое, что видит пассажир, придя на железнодорожный транспорт. Завершается поездка также на объекте пассажирской инфраструктуры.

Для поддержания территорий и обустройств ТПУ, вокзальных комплексов и ОП в надлежащем санитарно-культурном и санитарно-техническом состоянии выполняется ряд работ по текущему содержанию и уборке. Технология текущего содержания и уборки пассажирской инфраструктуры зависит от различных факторов, в том числе:

- убираемых поверхностей (металл, бетон, стекло, гранит и т.д.);
- степени и характера загрязнения;
- допустимых к использованию чистящих средств для каждой поверхности;
- применяемых инструментов;
- используемых средств механизации и автоматизации;
- привлекаемых работников различной квалификации;
- графика работы соответствующего объекта в части непосредственно обслуживания пассажиров и посетителей.

По характеру возникновения мусора, загрязнений и других факторов, требующих проведения работ по текущему содержанию и уборке пассажирских обустройств, можно условно выделить несколько групп загрязнителей:

- природные (листва, трава, снег, наледь и т.д.)

• обусловленные работой железной дороги (налет от колодок, проходящих грузовых поездов; пыль от перевозимых грузов и т.д.);

• бытовые (твердые коммунальные отходы, несортируемый бытовой мусор, вандальные надписи и т.д.).

По вариантам возникновения загрязнений и мусора видно, что наличие небольшого пассажиропотока не всегда означает, что на вокзальном комплексе или ОП требуется меньше мероприятий по поддержанию санитарно-технического и санитарно-культурного состояния объектов. Отдельные загрязнения на небольших ОП могут быть более сильными, чем на ОП с большим пассажиропотоком (налет от колодок грузовых поездов, пыль от верхнего строения пути и грузов, вандальные надписи из-за отсутствия охраны, большие объемы покоса травы из-за отсутствия плотной застройки и дорожного покрытия в полосе отвода).

В современных условиях клиентоориентированности и необходимости достижения национальной цели Российской Федерации «комфортная и безопасная среда для жизни», неотъемлемой составляющей которой является транспорт, необходимо переходить к концепции поддержания единого уровня чистоты на всех объектах пассажирской инфраструктуры. Однако это достаточно затруднительно для удаленных ОП в связи с рядом их особенностей: низкий пассажиропоток, удаленное расположение и ограниченная транспортная доступность, зачастую железнодорожный транспорт является безальтернативным, небольшие размеры движения пригородных поездов, отсутствие отапливаемых помещений и мест для хранения инвентаря. В связи с перечисленными особенностями содержать на таких ОП штат сотрудников нецелесообразно. При этом необходимо обеспечивать текущее содержание и уборку элементов пассажирской инфраструктуры. Выходом из сложившейся ситуации может стать использование мобильных бригад для выполнения данных работ.

Для использования мобильных бригад необходимо решить ряд задач, касающихся состава бригады, оснащения ее необходимым оборудованием и инвентарем, организации труда и отдыха. Основной задачей является формирование графика работы мобильных бригад, совокупность которых образует график текущего содержания и уборки пассажирских обустройств (ГТСиУПО).

При решении поставленной задачи авторы учитывали отечественный и зарубежный опыт, накопленный при решении аналогичных задач планирования перевозочного процесса скоростного транс-

порта городских агломераций [4–10], технического обслуживания путевого хозяйства [11–14], технологических процессов на линейных объектах пассажирского комплекса железнодорожного транспорта [15].

Формализация описания исходных данных и результатов построения ГТСиУПО

Для формализации задачи построения ГТСиУПО авторами по аналогии с показавшими свою эффективность при решении других задач планирования формализациями [9; 16] введено описание исходных данных и результатов построения в формате кортежей (последовательностей компонентов). Апробированный в ходе автоматизации построения графика движения поездов, графика оборота подвижного состава и графика работы локомотивных бригад паттерн построения структур данных показал свою открытость к дополнению и учету особенностей реальных задач. Введены следующие понятия для формализации описания исходных данных, объекты каждого класса объединены во множества:

1. ОП S — это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ — наименование (уникальный идентификатор) ОП.

- N_s — число ОП, в которых надо выполнить работу в рамках ГТСиУПО.

2. Бригада W — это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ — уникальный идентификатор бригады;

- V — коэффициент при оплате выполнения работ, определяемый квалификацией сотрудников;

- K — показатель квалификации сотрудников, учитываемый при расчете трудоемкости работ;

- S — ОП постоянной дислокации (приписки) бригады.

N_w — число бригад, задействованных в выполнении ГТСиУПО. При необходимости для бригад может быть предусмотрен изменяемый состав, тогда требуется ввести еще понятие «работника», совокупность которых составляет бригаду.

3. Тип уборочной техники M — это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ — наименование (уникальный идентификатор) данного типа уборочной техники;

- V — нормативная стоимость единицы времени работы данного типа уборочной техники;

- P — плановая периодичность выполнения технического обслуживания данного типа уборочной техники;

- L — плановая длительность выполнения технического обслуживания данного типа уборочной техники.

N_m — число типов уборочной техники, задействованных в реализации ГТСиУПО.

4. Единица уборочной техники C — это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ — уникальный идентификатор единицы уборочной техники;

- S — ОП постоянной дислокации (приписки) единицы уборочной техники.

N_c — число единиц уборочной техники, задействованной в реализации ГТСиУПО.

5. Тип работы T — это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ — наименование (уникальный идентификатор) данного типа работы (уровень сложности, идентификатор) (обычная, генеральная, простой, перемещение между пунктами как работников, так и уборочной техники);

- P — плановая периодичность выполнения данного типа работы;

- L — плановая длительность выполнения данного типа работы;

- V — норматив оплаты труда за единицу времени выполнения данного типа работы;

- B — размер штрафа за единицу времени при несвоевременном выполнении данного типа работы;

- M — тип уборочной техники, необходимый для проведения данного типа работы.

N_t — число типов работ, к которым могут привлекаться работники в рамках ГТСиУПО.

Для формализации описания результатов построения введено понятие «работа» A — кортежа, включающего в себя следующие компоненты (поля):

- S — ОП, на котором проводится работа;

- T — выполняемый тип работ;

- t_p — плановое время начала выполнения работ с указанием суток;

- t_b — время начала выполнения работ с указанием суток;

- L — реальная длительность выполнения работы;

- W — бригада, выполняющая работу;

- C — оборудование, задействованное в выполнении работ.

N_a — число работ, которые необходимо выполнить в рамках ГТСиУПО. Множество работ включает в себя, как заданные требованиями к уборке ОП, так и дополнительные, связанные с перемещениями работников и техники или их простоем. Совокупность всех работ всех типов A описывает ГТСиУПО.

Решение задачи проводится с использованием информации:

- о возможностях и стоимости перемещения работников и техники между ОП, представленной в графовой и (или) табличной форме;
- графике движения задействованных для перемещения работников и техники транспортных средств.

В ходе построения ГТСиУПО для конкретного транспортного предприятия предложенная формализация может быть уточнена с учетом особенностей использования ресурсов конкретных видов.

Математическая постановка задачи оптимизации ГТСиУПО

Целью построения ГТСиУПО является выполнение всех требований по своевременной уборке всех ОП при минимальных затратах человеческих и материальных ресурсов. В этом случае с использованием введенной формализации критерий качества R_T ГТСиУПО можно сформулировать следующим образом:

$$Crit = \lambda_w R_w + \lambda_A R_A + \lambda_C R_C + \lambda_R R_R \rightarrow \min, \quad (1)$$

где R_w — затраты на оплату труда и перемещения работников;

R_A — затраты на оплату штрафов за несвоевременную уборку, если это присутствует в ГТСиУПО;

R_C — затраты на оплату использования и перемещения уборочной техники;

R_R — затраты на страхование рисков, связанных с нарушением графика движения задействованных для перемещения работников и техники транспортных средств, несвоевременным прибытием работников и уборочной техники, несвоевременным окончанием выполнения работ и другими причинами нарушения ГТСиУПО.

$\lambda_w, \lambda_A, \lambda_C, \lambda_R$ — весовые коэффициенты, нормирующие влияние затрат R_w, R_A, R_C, R_R , соответственно, на значение критерия качества; коэффициенты могут принимать значения в интервале $[0;1]$, значение по умолчанию — 1.

Затраты на оплату труда и перемещения работников R_w с учетом введенной формализации могут рассчитываться, например, следующим образом:

$$R_w = \sum_{i=1}^{N_A} (A_i : T : V \cdot A_i : L \cdot A_i : W : V), \quad (2)$$

где i — индекс работы из рассматриваемого множества, параметр суммирования;

A_i — работа с индексом i .

Затраты на оплату штрафов за несвоевременную уборку R_A могут рассчитываться, например, на основе

величины отклонения времени начала уборки от планового времени:

$$R_A = \sum_{i=1}^{N_A} \begin{cases} A_i : T : B(A_i : t_b - A_i : t_p), & \text{если } A_i : t_b > A_i : t_p \\ 0, & \text{если } A_i : t_b \leq A_i : t_p \end{cases} \quad (3)$$

Затраты на оплату использования и перемещения уборочной техники R_C с учетом введенной формализации могут рассчитываться, например, следующим образом:

$$R_C = \sum_{i=1}^{N_A} (A_i : L \cdot A_i : C : M : V). \quad (4)$$

Затраты на страхование рисков R_R могут рассчитываться в соответствии с принятой на предприятии методикой управления рисками (для ОАО «РЖД» такой методикой является методика УРРАН) с учетом имеющихся статистических данных и опыта проведения подобных работ.

Ограничениями при решении этой задачи построения ГТСиУПО являются:

- требования выполнения всех работ всех N_T типов на всех ОП N_S имеющимся множеством бригад и единиц уборочной техники:

$$\forall A_i, 0 < A_i : W \leq N_w;$$

$$\text{если } A_i : T : M > 0, \text{ то } A_i : C > 0 \text{ и } : 0 \leq N_w A_i : C = A_i : T : M. \quad (5)$$

- отсутствие одновременного назначения на выполнение одной и той же работы более одной бригады и единицы уборочной техники — это не допускается на уровне введенной формализации;

- отсутствие назначения бригаде и единице уборочной техники более одной работы в один и тот же момент времени;

- требования Трудового кодекса РФ и других нормативных актов, регламентирующих режим рабочего времени и времени отдыха соответствующих работников конкретного транспортного предприятия.

Логика ограничений при переходе от одной транспортной системы к другой не меняется. Меняются числовые параметры, отражающие особенности конкретного транспортного предприятия, что учитывается путем изменения соответствующих настроек средств автоматизации, выполняющих построение ГТСиУПО. Особенности организации работы бригад с учетом отпусков, больничных и нестандартных ситуаций, а также уборочной техники с учетом ее исправности и необходимости технического обслуживания могут быть учтены путем введения соответствующих ограничений на интервалы времени, когда работники и техника могут быть задействованы в реализации заданного ГТСиУПО.

Привлечение работников и уборочной техники на случай нестандартных ситуаций может рассматриваться как еще один тип работ, который также должен учитываться.

Перед началом решения задачи построения ГТСиУПО следует проверить выполнение необходимых условий удовлетворения потребности в уборке ГТСиУПО, наличия необходимых для этого трудовых ресурсов и уборочной техники. Невыполнение этих условий однозначно приведет к затратам на оплату штрафов.

Выбор методов решения задачи оптимизации ГТСиУПО

При решении задач, подобных задаче построения ГТСиУПО, хорошо себя зарекомендовали генетический алгоритм [16;17], рекурсивные алгоритмы, использующие метод динамического программирования и принцип оптимальности Беллмана, жадные алгоритмы [9;18]. Рекурсивные алгоритмы будут базироваться на алгоритмах обхода графов в глубину или ширину [19;20] и включать в себя несколько вложенных циклов: по множествам ОП, бригад, техники и т.п. В зависимости от последовательности вложения циклов и направления перебора (например, от самого дальнего от пункта постоянной дислокации ОП или, наоборот, самого ближнего) будет меняться множество рассмотренных вариантов или значения

показателей равномерности занятости бригад и уборочной техники.

Заключение

Количество остановочных пунктов категории D (с пассажиропотоком менее 500 чел/сут) превышает 9 000, поэтому решение поставленной задачи имеет большое практическое значение. Разработанные авторами математическая формализация задачи и постановка соответствующей задачи оптимизации могут стать основой для создания автоматизированной системы управления работами по текущему содержанию и уборке ОП мобильными бригадами. Функционал данной системы может предусматривать не только разработку графиков работы мобильных бригад и их оперативную корректировку в случае необходимости, но и формирование цифровых технологических карт выполнения различных работ, назначение, контроль и учет выполненных мобильной бригадой заданий, анализ результатов для разработки комплекса предупреждающих и корректирующих мероприятий. Реализация такого функционала способствует обеспечению единых стандартов чистоты и комфорта на ОП всех категорий, в том числе с небольшим пассажиропотоком и, как следствие, повышению индекса удовлетворенности пассажиров поездкой и росту потребительской лояльности к железнодорожному транспорту.



Литература

1. Вакуленко, С. П. Клиентоориентированность пассажирского комплекса РЖД / С. П. Вакуленко, Е. В. Копылова. - Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. - 2023. - № 4. - С. 38-47.
2. СТО РЖД 03.008–2022. Услуги на железнодорожном транспорте. Методика оценки качества услуг, оказываемых пассажирам. : стандарт ОАО «РЖД» : издание официальное : утвержден и введен в действие Распоряжением ОАО «РЖД» от 29 сентября 2022 г. № 2509/р : введен впервые : дата введения 2022-10-01 / разработан федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» (РУТ (МИИТ)). - Москва : ОАО «РЖД», 2022. - 22 с. - Текст : непосредственный.
3. ГОСТ Р 5817–2018. Услуги на железнодорожном транспорте. Требования к обслуживанию пассажиров на остановочных пунктах = Services in railway transport. Requirements for passenger service at flag stations : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 июля 2018 г. №401-ст. : введен впервые : дата введения 2018-12-01 / разработан федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» (РУТ (МИИТ)). - Москва : Стандартинформ, 2018. - 16 с. - Текст : непосредственный.
4. Pang, Shinsiong & Chen, Mu-Chen. (2023). Optimize railway crew scheduling by using modified bacterial foraging algorithm. Computers & Industrial Engineering. 180. 109218. DOI: 10.1016/j.cie.2023.109218.
5. Jaroslav Janacek, Michal Kohani, Matyas Koniorczyk, Peter Marton, Optimization of periodic crew schedules with application of column generation method // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. - 2017. - Vol. 83. - Pp. 165-178. DOI: 10.1016/j.trc.2017.07.008.

6. Neufeld, Janis & Scheffler, Martin & Tamke, Felix & Hoffmann, Kirsten & Buscher, Udo. (2021). An Efficient Column Generation Approach for Practical Railway Crew Scheduling with Attendance Rates. *European Journal of Operational Research*. 293. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.12.058.
7. Rähmann, Christian & Thonemann, Ulrich. (2020). Railway crew scheduling with semi-flexible timetables. *OR Spectrum*. 42. DOI: 10.1007/s00291-020-00592-y.
8. Heil, Julia. (2019). A Solution Approach for Railway Crew Scheduling with Attendance Rates for Multiple Networks. DOI: 10.1007/978-3-030-18500-8_68. - Текст : электронный.
9. Маркевич, А. В. Планирование работы машинистов городского рельсового транспорта. / А. В. Маркевич, В. Г. Сидоренко. - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВЕСТНИК ВНИИЖТ). - 2024. - 83(3). - С. 259-269.
10. Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций / В. Г. Сидоренко, Е. В. Копылова, А. И. Сафронов, М. А. Туманов. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2023. - Т. 9, № 1. - С. 33-48.
11. Применение цифровизации при планировании контингента по техническому обслуживанию железнодорожной инфраструктуры / Н. И. Коваленко, В. А. Бучкин, Ю. А. Быков, Е. Н. Гринь. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2021. - Т. 19, № 2(93). - С. 116-121.
12. Коваленко, Н. И. Оценка рисков нарушения численности персонала в путевом хозяйстве / Н. И. Коваленко, А. Н. Коваленко. - Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. - 2024. - № 2. - С. 25-29.
13. Полянский, А. В. Инженерно-интеллектуальное обеспечение технологических процессов в железнодорожном строительстве / А. В. Полянский. - Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Мир науки». - 2023. - 245 с. - Текст : непосредственный.
14. Гринчар, Н. Г. Об использовании парков путевых машин / Н. Г. Гринчар. - Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. - 2023. - № 6. - С. 7-10.
15. Копылова, Е. В. Проблемы и перспективы создания интеллектуальных систем управления технологическими процессами на линейных объектах пассажирского комплекса железнодорожного транспорта / Е. В. Копылова, М. А. Туманов, В. Г. Сидоренко. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 4. - С. 95-100.
16. Baranov, L.A. Application of Genetic Algorithms for the Planning of Urban Rail Transportation System / L.A. Baranov, V.G. Sidorenko, A.I. Safronov, K.M. Aung // *Traffic Flow Theory and Research in Civil and Transportation Engineering. TSTP 2021. (Technical Conference «Transport Systems: Theory and Practice» Online, September 20-21, 2021) Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, Cham. - 2022. - Pp. 21-39. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93370-8_2.
17. Сафронов, А. И. Применение генетических алгоритмов при решении задач планирования перевозочного процесса городской рельсовой транспортной системы / А. И. Сафронов, В. Г. Сидоренко. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2023. - Т. 9, № 1. - С. 49-62.
18. Беллман, Ричард. Динамическое программирование / Ричард Беллман : пер. с англ. И. М. Андреевой [и др.] ; под ред. Н. Н. Воробьева. - Москва : Иностранная литература, 1960. - 400 с. - Текст : непосредственный.
19. Оре, Ойстин. Теория графов = *Theory of graphs* / Ойстин Оре : пер. с англ. И. Н. Врублевской; под ред. Н. Н. Воробьева. - Изд. 2-е. - Москва : URSS : Либроком, 2008 (Москва: Ленанд). - 352 с. - Текст : непосредственный.
20. Харари, Фрэнк. Теория графов / Фрэнк Харари : пер. с англ. В. П. Козырева ; под ред. Г. П. Гаврилова. - Москва : Мир, 1973. - 300 с. Текст : непосредственный.