



**Назиржон Мукарамович
Арипов**
Nazirjon M. Aripov



**Шохрух Шухратович
Камалетдинов**
Shokhrukh Sh. Kamaletdinov

Моделирование процессов автоматизированного сменно-суточного планирования погрузки грузов на железнодорожном транспорте

Modeling of processes of automated shift-daily planning of cargo loading on railway transport

Аннотация

Сменно-суточное планирование погрузки является одним из важных задач организации перевозок на железнодорожном транспорте. С целью обеспечения качества перевозок предлагается усовершенствованная технология планирования. Для анализа и исследования предлагаемой системы разработана модель на основе сети Петри, а также применен алгоритм Флойда — Уоршелла для нахождения кратчайших расстояний до погрузочных ресурсов.

Ключевые слова: планирование погрузки, двудольный граф, сети Петри, кратчайший путь, алгоритм Флойда — Уоршелла.

Abstract

Shift-daily loading planning is one of the important tasks of transportation organization by rail. In order to ensure the quality of transportation, the improved planning technology is proposed. To analyze and study the proposed system, a model based on a Petri net has been developed, and the Floyd–Warshell algorithm has been applied to find the shortest distances to loading resources.

Keywords: loading planning, bipartite graph, Petri nets, shortest path, Floyd–Warshell algorithm.

Авторы Authors

Назиржон Мукарамович Арипов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика», Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТУ), Ташкент, Узбекистан; e-mail: aripov1110@gmail.com | Шохрух Шухратович Камалетдинов, PhD, докторант кафедры «Автоматика и телемеханика», Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТУ), Ташкент, Узбекистан; e-mail: shaxr2107@gmail.com

Nazirjon M. Aripov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Automation and Telemechanics Department, Tashkent State Transport University (TSTU), Tashkent, Uzbekistan; e-mail: aripov1110@gmail.com | Shokhrukh Sh. Kamaletdinov, PhD, Doctoral student of the Automation and Telemechanics Department, Tashkent State Transport University (TSTU), Tashkent, Uzbekistan; e-mail: shaxr2107@gmail.com

Планирование погрузки грузов на предстоящую смену и сутки является важнейшей задачей в планировании местных работ. От правильности составления плана зависит качество организации местной работы на железнодорожном узле. В статье рассматриваются процессы планирования погрузки регионального железнодорожного узла (РЖУ) Ташкент. Для сменно-суточного планирования поездной и грузовой работы необходима информация о выполнении заданий по погрузке и выгрузке вагонов за прошедшие сутки, наличии заявок грузоотправителей на погрузку вагонов в предстоящие сутки, а также о подходе поездов и вагонов под выгрузку с соседних РЖУ и дорог. На сегодняшний день эта информация собирается вручную со станций полигона со стороны диспетчера по местным работам (ДНЦМ), что требует значительных затрат времени на ее сбор для сменно-суточного планирования [1].

Автоматизация процессов сбора и обработки информации позволит эффективно решать проблему времени и достоверности данных [2, 3]. Повышение качества данных даст возможность диспетчерскому персоналу принимать оптимальные управленческие решения.

Разработка технологии автоматизированного сменно-суточного планирования погрузки требует тщательного анализа основных процессов и специфики региональных железнодорожных узлов. Формализация и моделирование процессов планирования поможет представить последовательность процессов как систему и устранить недостатки этой системы. Цель исследования — моделирование процессов автоматизированного сменно-суточного планирования погрузки на железнодорожном транспорте.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Построить концепцию системы планирования погрузки в автоматизированном режиме.
2. Провести моделирование процессов подборки вагонов под каждой заявкой.
3. Разработать методику определения оптимального варианта развоза порожних вагонов.

1. Построение концепции системы планирования погрузки в автоматизированном режиме

Погрузка планируется на основе заявок грузоотправителей и информации о доступных порожних вагонах. При планировании на смену или сутки основной задачей является обеспечение заявок порожними вагонами. Для выполнения заявок используются порожние вагоны, которые находятся на полигоне или в пути к нему. Реализация этой задачи требует сотрудничества нескольких уровней управления перевозками [1].

ДНЦМ организует автоматизированное формирование заданий на осмотр вагонов под погрузку по конкретным заявкам и оформление ВУ-14 для линейного уровня, основываясь на данных о родах и типах вагонов, ранее перевозимых в них грузов и их дислокации на отделении дороги. После осмотра и подготовки подвижного состава происходит привязка вагонов к заявкам, что гарантирует выполнение всех требований, связанных с техническим состоянием вагонов, правилами курсирования и погрузки вагонов принадлежности других государств, а также правилами работы с арендованными подвижными составами [1].

2. Моделирование процессов подборки вагонов под каждой заявкой

Сменно-суточное планирование погрузок разделим на 4 этапа:

- 1) обработка заявок по условиям перевозок грузов;
- 2) выбор оптимальных вариантов вагонов по местонахождению;
- 3) технический осмотр вагонов;
- 4) пономерное прикрепление вагонов к заявкам.

Разработаем модель обработки заявок грузоотправителей по свободным погрузочным ресурсам. Для этого будем использовать метод сети Петри.

Сеть Петри S является четверкой, $S = (P, T, I, O)$. $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ — конечное множество позиций, $n \geq 0$. $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ — конечное множество переходов, $m \geq 0$. Множество позиций и множество переходов не пересекаются, $P \cap T = \emptyset$. $I : T \rightarrow P^\infty$ является входной функцией — отображением из переходов в комплекты позиций. $O : T \rightarrow P^\infty$ есть выходная функция — отображение из переходов в комплекты позиций. Маркированная сеть Петри $M = (S, \mu)$ есть совокупность структуры сети Петри $S = (P, T, I, O)$ и маркировки μ и может быть записана в виде $M = (P, T, I, O, \mu)$ [4].

Определим расширенную входную и выходную функцию

$$I : T \rightarrow P^\infty, O : T \rightarrow P^\infty, \quad (1)$$

таким образом, что

$$\#(t_j, I(p_i)) = \#(p_i, O(t_j)), \#(t_j, O(p_i)) = \#(p_i, I(t_j)). \quad (2)$$

Построим сеть Петри, состоящую из следующих позиций и переходов (рис. 1):

$$P = (p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}); \quad (3)$$

$$T = (t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}, t_{18}, t_{19}, t_{20}). \quad (4)$$

Описания событий и переходов сети Петри сменного-суточного планирования погрузки (рис. 1) представлены в табл. 1.

3. Разработка методики определения оптимального варианта развоза порожних вагонов

На этапе определения кратчайшего расстояния до вагонов предлагается использовать алгоритм Флойда — Уоршелла, предназначенный для решения задачи поиска всех кратчайших путей на графе [5–7]. Для заданного ориентированного взвешенного графа алгоритм находит кратчайшие расстояния между всеми парами вершин за время $O(n^3)$. Алгоритм применим к графам с произвольными, в том числе с отрицательными, весами.

Имеем граф $G = (V, E)$, в котором каждая вершина пронумерована от 1 до $|V|$. Сформируем матрицу смежности D . Эта матрица имеет размер $|V| \times |V|$, и каждому ее элементу D_{ij} присвоен вес ребра, соединяющего вершину i с вершиной j . Заметим, что в силу ориентированности графа G матрица D может быть несимметрична.

Полагаем диагональные элементы D_{ii} равными нулю, а недиагональные элементы, соответствующие неинцидентным вершинам (не имеющим общего ребра), положим равными бесконечности или числу, заведомо большему возможного расстояния между ребрами.

Ключевая часть алгоритма состоит из трех циклов:

- для k от 1 до $|V|$ выполнять;
- для i от 1 до $|V|$ выполнять;
- для j от 1 до $|V|$ выполнять.

Если $D_{ik} + D_{kj} < D_{ij}$, то $D_{ij} := D_{ik} + D_{kj}$.

Основной операцией алгоритма является релаксация элементов матрицы смежности: если $D_{ik} + D_{kj} < D_{ij}$, то производится присваивание $D_{ij} = D_{ik} + D_{kj}$.

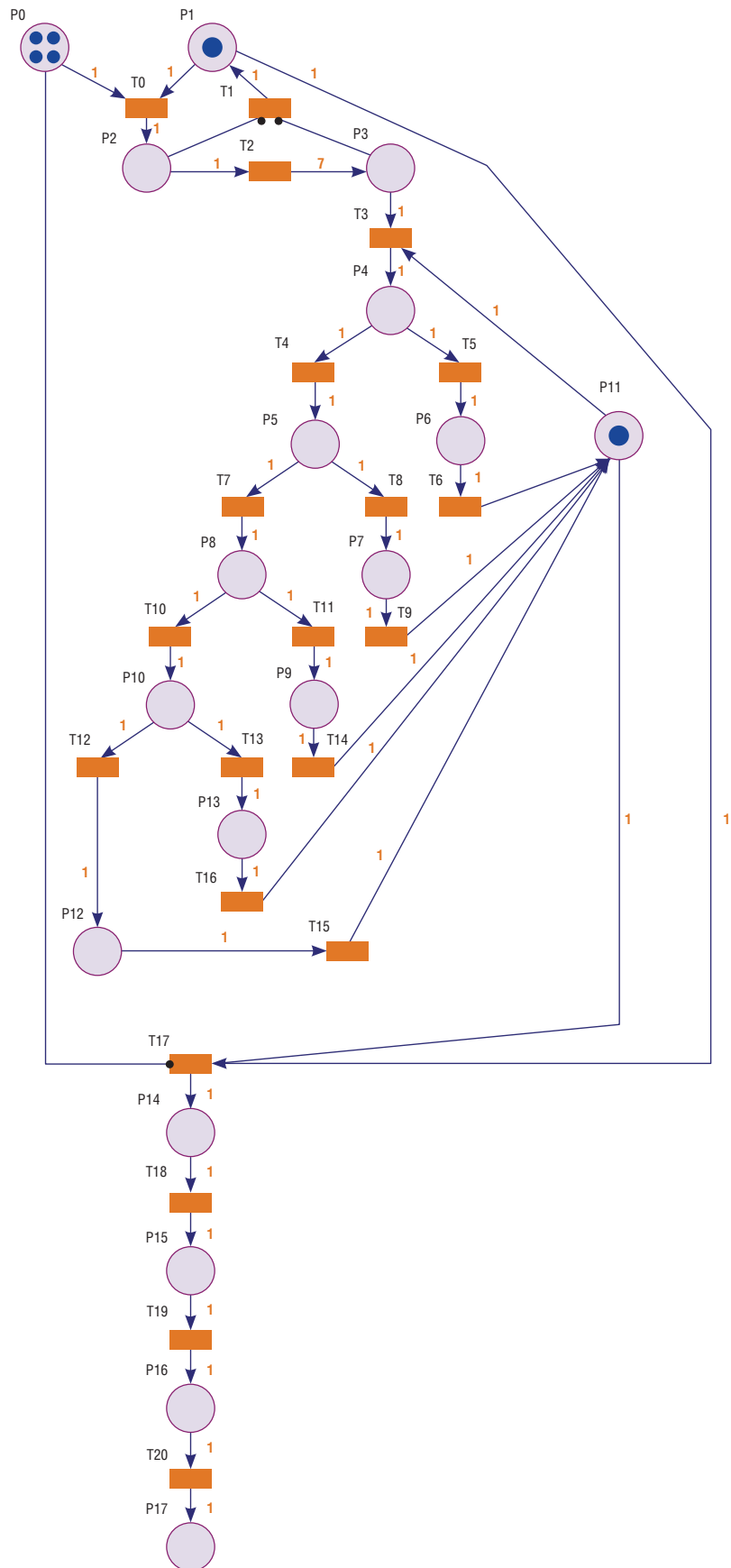


Рис. 1. Сеть Петри сменного-суточного планирования погрузки

Описания событий и переходов

	Описание позиции		Описание перехода
P0	Заявки приняты	T0	Одна заявка принята к обработке
P1	Заявку можно рассмотреть	T1	Переход к следующей заявке
P2	Одна заявка обрабатывается	T2	Определение количества порожних вагонов
P3	Список порожних вагонов	T3	Проверка первого вагона
P4	Проверка вагонов по роду и по типу	T4	Переход к проверке по пробегу вагонов
P5	Проверка вагонов по пробегам	T5	Добавить вагон в список свободных ресурсов
P6	Вагон в списке свободных ресурсов	T6	Закончить проверку вагона
P7	Вагон в списке свободных ресурсов	T7	Переход к проверке вагонов по ранее груженым грузам
P8	Проверка вагонов по ранее груженым грузам	T8	Добавить вагоны в список свободных ресурсов
P9	Вагон в списке свободных ресурсов	T9	Закончить проверку вагона
P10	Проверка возможности погрузки грузов на вагоны СНГ	T10	Переход к проверке возможности погрузки грузов на вагоны СНГ
P11	Можно переходить на следующий вагон	T11	Добавить вагоны в список свободных ресурсов
P12	Вагон подойдет под эту заявку	T12	Отметка годности вагона к заявкам
P13	Вагон находится в списке свободных ресурсов	T13	Добавить вагоны в список свободных ресурсов
P14	Отсортированный список вагонов по кратчайшим расстояниям	T14	Закончить проверку вагона
P15	Вагоны прикреплены к заявкам	T15	Закончить проверку вагона
P16	Осуществляется технический осмотр вагонов	T16	Закончить проверку вагона
P17	Вагоны прикреплены к заявкам	T17	Сортировка вагонов по кратчайшим расстояниям
		T18	Первичное прикрепление вагонов к заявкам
		T19	Подготовка задания на технический осмотр вагонов
		T20	Окончательное прикрепление годных вагонов к заявкам

На рис. 2 представлена схема РЖУ Ташкент. Узел имеет 50 станций и 4 разъезда. Для нахождения кратчайших расстояний до порожних вагонов составлен массив этих станций по расстояниям между ними, который будет использован для расчетов по алгоритму Флойда — Уоршелла.

Для определения кратчайшего пути между станциями узла использован алгоритм Флойда — Уоршелла. На языке Java была написана про-

грамма для определения кратчайших путей до станций, где находятся порожние вагоны. Конечным результатом будет список станций с подходящим вагоном с оптимальными расстояниями. Оперативные работники будут выбирать варианты по приоритетам и по расстояниям.

Модель, созданная с помощью сети Петри (рис. 1), дает четкое представление о последовательности действий и логической связи между позициями. Представлен-

ная иллюстрация была разработана с помощью программы HPSim. Осуществлена проверка правильности работы сетей Петри. Имитация хода фишек по сети дает возможность определить уязвимые места при моделировании. Поскольку система планирования погрузки осуществляется в автоматизированном режиме, метод сети Петри отлично подходит к определению работоспособности автоматизированных систем. **ИТ**

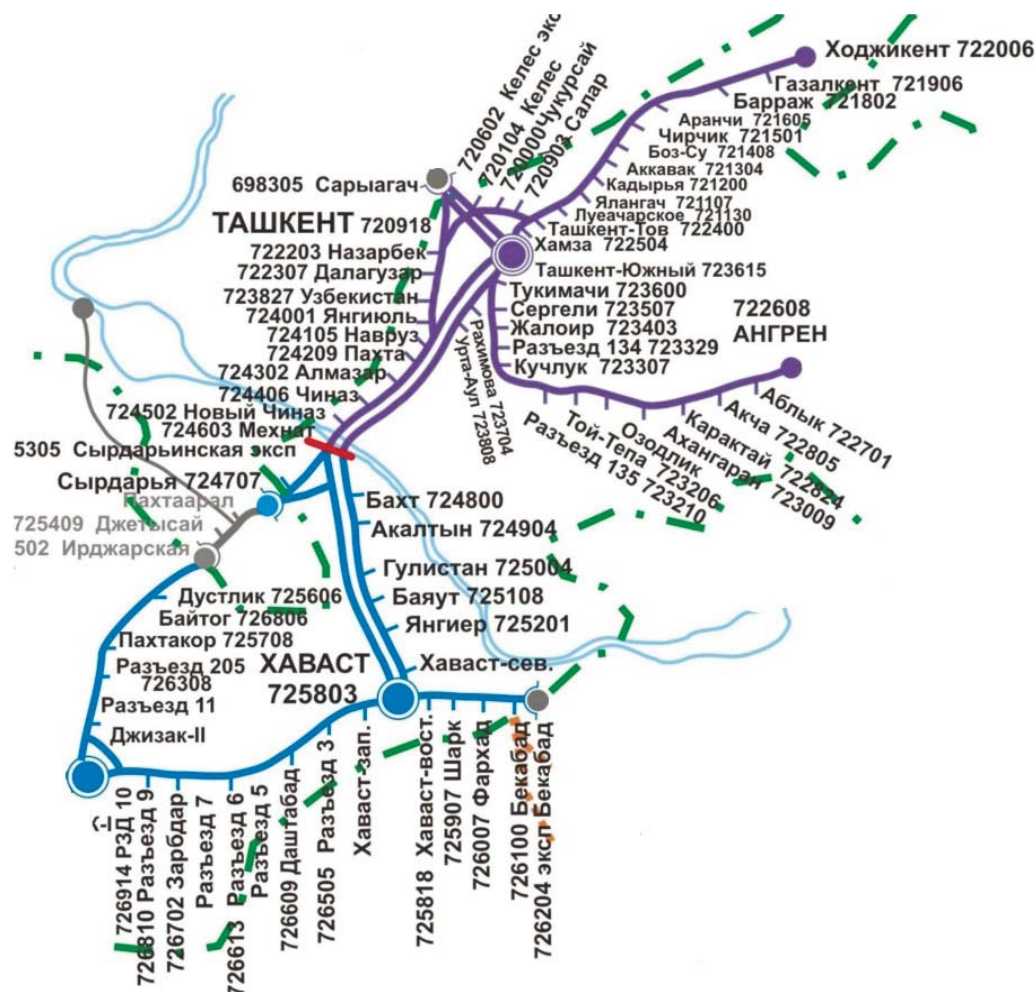


Рис. 2. Схема РЖУ Ташкент

Список литературы

1. Ковалев В. И. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах : учебник / В. И. Ковалев, А. Т. Осминин; под редакцией Г. М. Грошева. М., 2006. 544 с.
2. Арипов Н. М., Камалетдинов Ш. Ш. Моделирование сменно-суточного планирования выгрузки и погрузки вагонов // Academic Research in Educational Sciences. 2022. № 3 (9). С. 34–43. ISSN 2181–1385
3. Камалетдинов Ш. Ш., Арипов Н. М. Функциональное моделирование текущего планирования местной работы вагонов // Academic Research in Educational Sciences. 2022. № 3 (9). С. 119–124. ISSN 2181–1385.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / пер. с англ. М. : Мир, 1984. 264 с.
5. Roy B. Transitivité Et Connexité // Comptes Rendus Del' Académie Des Sciences 1959. Vol. 249. P. 216–218.
6. Warshall S. A Theorem on Boolean Matrices // Journal of the ACM. 1962. No. 1. P. 11–12. doi:10.1145/321105.321107.
7. Floyd R. W. Algorithm 97: Shortest Path // Communications of the ACM. 1962. No. 6. P. 345. doi: 10.1145/367766.368168.

References

1. Kovalev V. I. Automation systems and information technologies of transportation management on railways : textbook / V. I. Kovalev, A. T. Osminin; edited by G. M. Groshchev. M., 2006. 544 p.
2. Aripov N. M., Kamaletdinov Sh. Sh. Modeling of shift-daily planning of unloading and loading of wagons // Academic Research in Educational Sciences. 2022. No. 3 (9). P. 34–43. ISSN 2181–1385
3. Kamaletdinov Sh. Sh., Aripov N. M. Functional modeling of current planning of local work of wagons // Academic Research in Educational Sciences. 2022. No. 3 (9). P. 119–124. ISSN 2181–1385.
4. Peterson J. Theory of Petri nets and modeling of systems / trans. from English M. : Mir, 1984. 264 p.
5. Roy B. Transitivité Et Connexité // Comptes Rendus Del' Académie Des Sciences 1959. Vol. 249. P. 216–218.
6. Warshall S. A Theorem on Boolean Matrices // Journal of the ACM. 1962. No. 1. P. 11–12. doi:10.1145/321105.321107.
7. Floyd R. W. Algorithm 97: Shortest Path // Communications of the ACM. 1962. No. 6. P. 345. doi:10.1145/367766.368168.