

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/KBNH3045>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,210

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажибоева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребзов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

***О. Г. Киселёва¹, Юн Чэнь², А. С. Избаирова¹**

¹Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы;

²Академия логистики и транспорта, Республика Казахстан, г. Алматы

*e-mail: kisaolya.77@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ СЛЕДОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПОЛИГОНЕ

В статье рассмотрена актуальная задача формирования оптимальной маршрутной сети для продвижения контейнерных поездов по участкам железнодорожного полигона. Целью научного исследования является разработка вариантов решения задачи по критерию – минимизации затрат. Для решения поставленной задачи предложено использовать математическую модель о многопродуктовом потоке минимальной стоимости с применением метода релаксации, который позволяет на каждом шаге итерации выбирать наиболее эффективный вариант следующего решения.

Задача оптимизации маршрутов следования контейнерных поездов решается путем построения мультиграфа с множеством вершин и дуг, исходными данными являются удельные затраты на транспортировку единицы продукции, максимальные и минимальные значения потоков между вершинами. При использовании теории графов имеется возможность поиска оптимального распределения контейнеропотоков на сети при условиях сохранения потока в вершинах графа и ограничений на величину потока по дугам. В исследовании установлено, что для реализации поставленной задачи необходимо учитывать удельные затраты на следование контейнерных поездов между узлами железнодорожного полигона с учетом пропускных способностей ветвей между узловыми станциями. Дополнительно к оптимизации маршрутов следования контейнерных поездов разработанная математическая модель позволяет принять решений при выборе рационального варианта инвестиций для развития транспортной инфраструктуры и усиления пропускной способности железнодорожных участков полигона. Использование предлагаемой модели дает возможность определить участки с ограниченной пропускной способностью с целью наиболее эффективного перераспределения потоков. Данные решения позволят получить максимально возможный экономический эффект за счет снижения стоимости затрат на транспортировку.

Ключевые слова: контейнерный поезд, метод релаксации, мультиграф, пропускная способность, железнодорожный полигон.

Введение

Для большинства железнодорожных администраций контейнерные перевозки являются основным долгосрочным фактором роста железнодорожного сектора. Наиболее перспективным сегментом перевозок на Евразийском пространстве являются перевозки по маршрутам КНР-ЕС-КНР, где большую часть грузопотока составляют контейнерные поезда. Это связано с интенсивным экономическим развитием западных и центральных регионов Китая и субсидированием данными регионами контейнерных перевозок в страны Европейского союза.

Также на рост объемов контейнерных перевозок оказала позитивное влияние реализация ряда масштабных инфраструктурных проектов. Среди них стоит отметить строительство новых железнодорожных линий и модернизацию участков с дефицитом пропускной способности [1; 2]. На сегодняшний день улучшены процессы, направленные на увеличение скорости продвижения транзитных контейнерных поездов, и введены гибкие тарифы на транзит контейнерных перевозок [3]. Для привлечения транзитных грузов в ближайшей перспективе необходимо максимально снижать сроки доставки по транзитным направлениям и затраты на контейнерные перевозки с учетом интенсивного развития контейнерных терминалов и перспективных логистических маршрутов [4]. Кроме того, при выборе направлений следования контейнеропотоков существенно важным являются интересы грузовладельцев с точки зрения учета логистических рисков и минимизации транспортных издержек [5]. Таким образом, увеличение объема контейнерных грузоперевозок является стратегически важным направлением в развитии транспортной системы в целом.

Целью научного исследования является разработка вариантов решения задачи формирования оптимальной маршрутной сети для продвижения контейнерных поездов по участкам железнодорожного полигона по основному критерию - минимизации затрат. Анализ научно-исследовательских работ позволил заключить, что вопросы оптимизации контейнерных перевозок по-прежнему являются актуальными в мировом сообществе [6; 7; 8; 9; 10]. В работах обосновывается, что в условиях ограниченных инвестиционных ресурсов наиболее целесообразно проводить мероприятия оптимизационного характера. Например, эффективными мерами являются прогнозирование размеров контейнерных поездов и рационализация распределения контейнеропотока по железнодорожной сети.

Реализация оптимизационных мер в перспективе позволит увеличить размеры движения контейнерных поездов по международным транспортным коридорам.

Материалы и методы

Задачу распределения потоков контейнерных поездов возможно представить как задачу о многопродуктовом потоке минимальной стоимости, которая сводится к определению оптимального варианта транспортировки грузов в сетевой постановке.

Многопродуктовая транспортная задача имеет большое прикладное значение и исследовалась рядом авторов для оптимизации маршрутов на железнодорожной сети [11; 12].

Смоделировать данный процесс можно через построение мультиграфа $G(V, A)$, который состоит из пары множеств: V – вершины и A – направленные дуги.

Каждая вершина $i \in V$ характеризуется величиной интенсивности s_i . Например, если интенсивность вершины составляет более 0 ($s_i > 0$), то такая вершина является источником, откуда требуется отправить s_i количество груза. Если интенсивность вершины составляет менее 0 ($s_i < 0$), то такая вершина является стоком, в которую требуется доставить $|s_i|$ количество груза. Если интенсивность вершины равняется 0 ($s_i = 0$), то такая вершины будет относиться к нейтральным, в которой грузопоток будет только перераспределяться.

Каждой дуге $(i, j) \in A$ присваивается направление и задаются следующие параметры:

- c_{ij} - расходы на перевозку груза из пункта i в пункт j ;
- a_{ij} и b_{ij} - наименьший и наибольший размеры грузопотоков x_{ij} по дуге (i, j) .

В математической модели поставленной задачи поставлено условие, что общий размер отправленных грузов равен общему размеру прибывших, то есть на сети обеспечивается баланс грузопотоков:

$$\sum_{i \in V} s_i = 0. \quad (1)$$

Решая задачу о многопродуктовом потоке минимальной стоимости необходимо минимизировать целевую функцию:

$$z(x) = \sum_{(i, j) \in A} \sum_{k=1}^N c_{ij}^{(k)} x_{ij}^{(k)} \rightarrow \min \quad (2)$$

С учетом следующих ограничений:

$$\sum_{j | (i, j) \in A} x_{ij}^{(k)} - \sum_{j | (j, i) \in A} x_{ji}^{(k)} = s_i^{(k)}, \quad \forall i \in V, \quad (k = \overline{1, N}), \quad (3)$$

$$a_{ij}^{(k)} \leq x_{ij}^{(k)} \leq b_{ij}^{(k)}, \quad \forall (i, j) \in A, \quad (k = \overline{1, N}), \quad (4)$$

$$a_{ij} \leq \sum_{k=1}^N x_{ij}^{(k)} \leq b_{ij}, \quad \forall (i, j) \in A. \quad (5)$$

В задаче о многопродуктовом потоке минимальной стоимости для вершин дополнительно вводятся значения интенсивности для каждого k -го вида груза $s_i^{(k)}$ ($k = \overline{1, N}$), а для дуг - величины расходов на перевозку k -го вида груза $c_{ij}^{(k)}$ и значения минимальных и максимальных размеров грузопотоков k -го вида $a_{ij}^{(k)}, b_{ij}^{(k)}$.

Из выражения (2) определяются общие расходы на транспортировку грузов с применением мультиграфа $G(V, A)$ и выбирается минимальное их значение. В каждой вершине мультиграфа $i \in V$ поток должен быть сохранен с учетом ее интенсивности. В выражении (3) представлены две суммы: первая – это исходящий поток всех видов грузов, вторая - это входящий поток всех видов грузов. Если вершина i - источник, то разница между исходящим и входящим потоками составит s_i . Если вершина i - сток, то разница между входящим и исходящим потоками составит $|s_i|$. Если вершина i - нейтральная, то исходящий и входящий потоки будут равны.

Из выражения (4) следует, что в каждой дуге $(i, j) \in A$ должны выполняться следующие условия: значение потока k -го вида груза $x_{ij}^{(k)}$ должно быть не менее величины $a_{ij}^{(k)}$ и не более величины $b_{ij}^{(k)}$. В рассматриваемой задаче принято всегда неотрицательное значение нижней границы размера потока $x_{ij}^{(k)} \geq 0$, таким образом задано $a_{ij} = 0$ для каждой дуги $(i, j) \in A$.

Из выражения (5) следует, что общий размер всех перевозимых грузов по дуге (i, j) должен находиться в определенных пределах от a_{ij} до b_{ij} , ($\forall (i, j) \in A$).

Задача решается при выполнении условия баланса для всех видов груза

$$\sum_{i \in V} s_i^{(k)} = 0, \quad (k = \overline{1, N}).$$

Итак, поставленная задача заключается в определении минимальной стоимости транспортировки грузопотоков $x = \{x_{ij}^{(k)}\}$, $(i, j) \in A$, $(k = \overline{1, N})$, которые проходят по дугам мультиграфа $G(V, A)$ и удовлетворяют ограничениям (3), (4) и (5). В поставленной задаче требования по сохранению размеров потоков в вершинах и

ограничения размеров потоков по дугам мультиграфа должны быть строго выполнимыми.

Поставленную оптимизационную задачу можно решить с помощью методов линейного программирования, например, методом релаксации. Эффективность метода релаксации в решении задач по оптимизации потоков на сети заключается в высокой скорости отбора лучшего варианта на каждом шаге итерации.

Результаты и обсуждения

Контейнерные поезда, проходящие по участкам железнодорожного полигона, наглядно представлены на мультиграфе $G(V, A)$, который имеет 19 вершин и 25 дуг (рисунок 1).

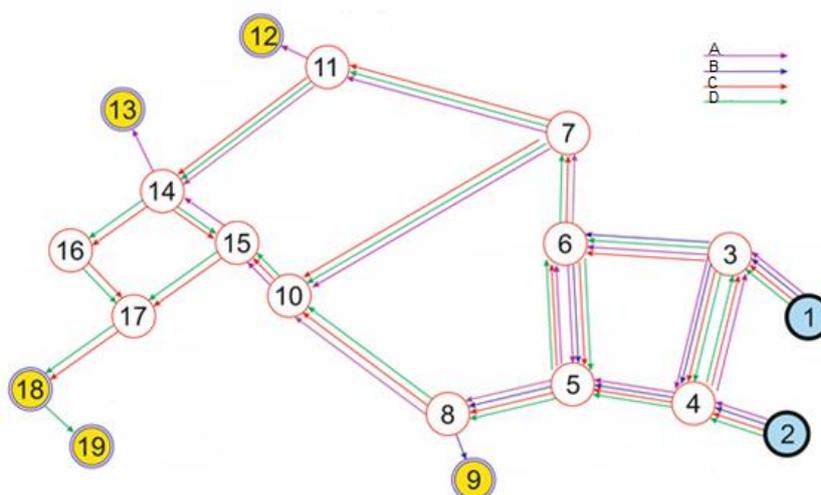


Рисунок 1 – Схема транзитных контейнеропотоков на железнодорожном полигоне

Расчеты проводились по четырем маршрутам следования контейнерных поездов на полигоне – А, В, С и D. Поэтому на мультиграфе некоторые вершины соединяются несколькими одинаково направленными дугами. Также на мультиграфе имеются некоторые дуги, по которым контейнеропотоки следуют в обоих направлениях - это дуги (3, 4) и (4, 3); (5, 6) и (6, 5); (14, 15) и (15, 14).

На железнодорожном полигоне контейнеропотоки зарождаются в двух пунктах - это вершины 1 и 2, которые на мультиграфе являются источниками. Контейнеропотоки следуют по участкам полигона в четырех направлениях. Поэтому из вершин 1 и 2 отправляются четыре контейнеропотока. В решаемой задаче о многопродуктовом потоке минимальной стоимости следует считать, что контейнеропотоки разных направлений являются разнородными и в пути следования не должны смешиваться между собой.

На железнодорожном полигоне контейнеропотоки погашаются в пяти пунктах – это вершины 12, 13, 9, 18 и 19. Вершины 12 и 13 являются стоками для маршрута следования

контейнерных поездов в направлении А, вершина 9 – в направлении В, вершина 18 – в направлении С и вершина 19 – в направлении D.

Остальные вершины мультиграфа (вершины 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 16 и 17) являются нейтральными, потому что в них размеры входящих и выходящих контейнеропотоков не изменяются.

Исходными данными для решения поставленной задачи являются характеристики вершин и дуг. Каждая вершина характеризуется каким пунктом она является (источник, сток или нейтральная), направлением следования контейнеропотоков и интенсивностью s_i (контейнерных поездов/сутки). Характеристики дуг включают протяженность участка l_{ij} (км), затраты на транспортировку 1 контейнерного поезда c_{ij} (усл.ед.) и пропускная способность участка b_{ij} (поездов/сутки).

Расчеты проводились для входящего контейнеропотока, который сформирован в вершинах 1 и 2, по двум вариантам:

1 вариант – 12 контейнерных поездов;

2 вариант – 14 контейнерных поездов.

По 1-му варианту – 12 поездов. Из общего количества поездов 7 контейнерных поездов следует по маршруту А, 3 поезда – по маршруту В, 1 поезд - по маршруту С и 1 поезд – по маршруту D. Из 7 контейнерных поезда, следующих по маршруту А, 2 поезда погашаются в вершине 12 и 5 поездов – в вершине 13.

Необходимо найти оптимальный вариант перераспределения контейнерных поездов на полигоне железнодорожной сети. Для этого потребуется видоизменить исходный мультиграф. То есть следует ввести дополнительную вершину 0, которая является источником и имеет интенсивность $s_0 = 12$ контейнерных поездов/сутки. После введения дополнительной вершины 0, вершины 1 и 2 будут относиться к нейтральным. После введения дополнительной вершины следует ввести дополнительные дуги (0, 1) и (0, 2) с пропускной способностью $b_{01} = b_{02} = 12$ поездов, причем затраты на транспортировку по этим дугам принимаются равными $c_{01} = c_{02} = 0$. Таким образом, перевозки по дугам (0, 1) и (0, 2) не будут включены в целевую функцию (2). Данное преобразование мультиграфа позволяет автоматически получить оптимальные размеры контейнеропотоков через вершины 1 и 2.

Для реализации задачи о многопродуктовом потоке минимальной стоимости использована стандартная программа Graph::minCost в среде MatLab. Результаты работы программы показали, что минимальное значение удельных затрат на перемещение контейнерных поездов по участкам железнодорожного полигона получено при следующем варианте распределения 12 контейнерных поездов – через вершину 1 проследуют 7 поездов, через вершину 2 – 5 поездов.

Зная значения многопродуктовых потоков можно также определить количество и маршруты следования контейнерных поездов. Так, в рассмотренной задаче для потока 12 контейнерных поездов, все 7 контейнерных поездов, которые сформированы в вершине 1, следуют в направлении А. В вершине 2 формируются 5 поездов, из которых 3 поезда следуют в направлении В, 1 поезд – в направлении С и 1 поезд – в направлении D.

По 2-му варианту – 14 поездов. Из общего количества поездов 8 контейнерных поездов следует по маршруту А, 3 поезда – по маршруту В, 2 поезда - по маршруту С и 1 поезд – по маршруту D. При этом количество и направления формируемых контейнерных поездов в терминалах могут быть следующими: из вершины 1 выходят 9 контейнерных поездов, в том числе 8 поездов – в направлении А и 1 поезд – в направлении D, а из вершины 2 выходят 5 контейнерных поездов, из них 3 – в направлении В и 2 – в направлении С.

Анализируя результаты, полученные по 2-му варианту, отмечено, что при значении потока $s_0 = 14$ к.п./сут. имеются дуги, в которых величина потока x_{ij} равна пропускной способности дуги b_{ij} . Такие дуги называются «насыщенными». В «насыщенных дугах» отсутствует резерв пропускной способности, поэтому на них невозможно увеличить размеры движения поездов. Выявление «насыщенных дуг» на железнодорожном полигоне имеет большое практическое значение. Это – «узкие места» в существующей железнодорожной сети, которые мешают реализации планов по наращиванию контейнерных грузопотоков через территорию Республики Казахстан. Например, если не изменять величину потока, а увеличить пропускные способности «насыщенных дуг» в 2 раза, то возможно значительно снизить суммарные транспортные затраты.

Выводы

Предложенный способ решения оптимизационной задачи позволяет распределить контейнерные поезда на железнодорожном полигоне с минимальными затратами на организацию маршрутов их следования.

Для решения задачи была разработана модель грузопотоков на сети - мультиграф. На мультиграфе указаны пункты зарождения и погашения грузопотоков, направления следования грузопотоков. На мультиграфе грузопотоки, следующие по разным маршрутам, представлены дугами разных цветов. Рассмотренная транспортная задача была представлена как задача о многопродуктовых потоках минимальной стоимости. Многопродуктовая транспортная задача сводится к определению максимальных размеров разнородных грузопотоков при минимальных затратах на перевозку.

Для решения многопродуктовой транспортной задачи был использован один из наиболее эффективных итерационных методов - метод релаксации. Данный метод позволяет быстро определить оптимальный вариант распределения грузопотоков на сети при выполнении условий сохранения потоков при прохождении через вершины и ограничений по пропускной способности дуг на мультиграфе.

Таким образом, разработанная математическая модель перераспределения контейнеропотоков дает возможность принятия оптимальных решений при выборе рационального варианта инвестиций для развития транспортной инфраструктуры и усиления пропускной способности участков сети. Использование предлагаемой модели дает возможность определить участки с ограниченной пропускной способностью с целью наиболее эффективного перераспределения потоков. Данные решения позволят получить максимально возможный экономический эффект за счет снижения стоимости затрат на транспортировку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Śladkowski, A., Abdirassilov, Z., Molgazhdarov, A. Transnational Value of the Republic of Kazakhstan in International Container Transportation // *Transport Systems and Delivery of Cargo on East–West Routes*. – 2018. – P. 171–204.

2 Abdullayev, S., Kiseleva, O., Adilova, N., Bakyt, G., Vakhitova L. Key development factors of the transit and transport potential of Kazakhstan // *Transport Problems*. – 2016. – V. 11. – P. 17–26.

3 Sokolov, Y., Efimova, O., Lavrov, I., Pokrovskaya, O. Investigation of the market potential of transport and logistics services in the 1520 space // *IOP conference series: earth and environmental science*. – IOP Publishing, 2019. – V. 403. – № 1. – P. 012213.

4 Bekzhanova, S., Issina, B., Altayeva, Zh., Suyunbayev, Sh. Introduction of a single intellectual management system and automation of production processes on railway transport // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. – 2020. – V. 12. – № P 6. – P. 706–712.

5 Pokrovskaya, O., Reshetko, N., Kirpicheva, M., Lipatov, A., Mustafin, D. The study of logistics risks in optimizing the company’s transportation process // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2019. – V. 698. – № 6. – P. 066060.

6 Wang, J., Jiao, J., Ma, L. An organizational model and border port hinterlands for the China-Europe Railway Express // *Journal of Geographical Sciences*. – 2018. – V. 28. – P. 1275–1287.

7 Lakhmetkina, N., Oleinikov, A, Pilipchak, A, Dmitrieva, E. Development Barriers of Eurasian Container Transportation // *Transformation of Transportation*. – 2021. – P. 123–139.

8 Jia, H., Lam, J. S. L., Tran N. K. Spatial variation of travel time uncertainty in container shipping // *Transportation Research Procedia*. – 2020. – V. 48. – P. 1740–1749.

9 Abdirassilov, Z., Śladkowski, A. Application of artificial neural networks for shortterm prediction of container train flows in direction of China–Europe via Kazakhstan // *Transport Problems*. – 2018. – V. 13. – P. 103–113.

10 Abdirassilov, Z., Śladkowski, A., Izbaïrova, A., Sarbaev, S. Application of Artificial Neural Networks for Short-Term Forecasting of Container Flows in Kazakhstan

// Modelling of the Interaction of the Different Vehicles and Various Transport Modes. – 2020. – P. 131–158.

11 Zhao, L., Cheng Z., Li H., Hu, Q. Evolution of the China Railway Express consolidation network and optimization of consolidation routes //Journal of Advanced Transportation. – 2019. – V. 2019. – 16 p.

12 Isler, C. A., Asaff, Y., Marinov, M. Designing a geo-strategic railway freight network in Brazil using GIS // Sustainability. – 2020. – V. 13. – №. 1. – P. 85.

Поступило в редакцию 31.01.24.

Поступило с исправлениями 02.02.24.

Принято в печать 24.02.24.

***О. Г. Киселева¹, Юн Чэнь², А. С. Избаирова¹**

¹Сәтбаев Университет, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

²Логистика және көлік академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

31.01.24 ж. баспаға түсті.

02.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

24.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТЕМІРЖОЛ ПОЛИГОНЫНДА КОНТЕЙНЕРЛІК ПОЙЫЗДАРДЫҢ ЖҰРУ МАРШРУТТАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ОҢТАЙЛАНДЫРУ МОДЕЛІ

Мақалада теміржол полигонының учаскелері бойынша контейнерлік пойыздарды жылжыту үшін оңтайлы маршруттық желіні қалыптастырудың өзекті міндеті қарастырылған. Ғылыми зерттеудің мақсаты – шығындарды азайту критерийі бойынша мәселені шешудің нұсқаларын әзірлеу. Тапсырманы шешу үшін қайталанудың әр қадамында келесі шешімнің ең тиімді нұсқасын таңдауға мүмкіндік беретін релаксация әдісін қолдана отырып, ең төменгі құнның көп өнімді ағыны туралы математикалық модельді қолдану ұсынылады.

Контейнерлік пойыздардың жүру маршруттарын оңтайландыру міндеті көптеген шыңдары мен догалары бар мультиграф құру арқылы шешіледі, бастапқы мәліметтер-бұл өнім бірлігін тасымалдауға кететін шығындар, шыңдар арасындағы ағындардың максималды және минималды мәндері. Графиктер теориясын қолданған кезде графиктің шыңдарындағы ағынның сақталуы және догалар бойынша ағынның шамасына шектеулер болған жағдайда желіде контейнер ағындарының оңтайлы таралуын іздеу мүмкіндігі бар. Зерттеуде қойылған міндетті іске асыру үшін тораптық Станциялар арасындағы тармақтардың өткізу қабілеттілігін ескере отырып, теміржол полигонының тораптары арасындағы контейнерлік

пойыздардың жүруіне жұмсалатын үлестік шығындарды ескеру қажет екендігі анықталды. Контейнерлік пойыздардың жүру маршруттарын оңтайландырудан басқа, әзірленген математикалық модель көлік инфрақұрылымын дамыту және полигонның теміржол учаскелерінің өткізу қабілетін күшейту үшін инвестициялардың ұтымды нұсқасын таңдау кезінде шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Ұсынылған модельді пайдалану ағындарды тиімді қайта бөлу мақсатында өткізу қабілеті шектеулі учаскелерді анықтауға мүмкіндік береді. Бұл шешімдер тасымалдау шығындарының құнын төмендету арқылы мүмкін болатын экономикалық тиімділікті алуға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: контейнерлік пойыз, релаксация әдісі, мультиграф, өткізу қабілеті, теміржол полигоны.

***O. G. Kisselyova¹, Yun Chen², A. S. Izbairova¹**

¹Satbayev University, Kazakhstan, Almaty

²Academy of Logistics and Transport, Kazakhstan, Almaty

Received 31.01.24.

Received in revised form 02.02.24.

Accepted for publication 24.02.24.

AN OPTIMIZATION MODEL FOR THE FORMATION OF CONTAINER TRAIN ROUTES AT A RAILWAY LANDFILL

The article considers the urgent task of forming an optimal route network for the promotion of container trains along the sections of the railway landfill. The purpose of the scientific research is to develop options for solving the problem according to the criterion of minimizing costs. To solve this problem, it is proposed to use a mathematical model of a multi-product flow of minimum cost using the relaxation method, which allows choosing the most effective option for the next solution at each iteration step.

The problem of optimizing the routes of container trains is solved by constructing a multigraph with a set of vertices and arcs, the initial data are the unit costs of transporting a unit of production, the maximum and minimum values of flows between vertices. When using graph theory, it is possible to find the optimal distribution of container flows on the network under conditions of maintaining the flow at the vertices of the graph and restrictions on the amount of flow along the arcs. The study found that in order to achieve this task, it is necessary to take into account the unit costs of running container trains between the nodes of the railway polygon, taking into account the carrying capacity of the branches between the nodal stations. In addition to optimizing the routes of container trains, the

developed mathematical model allows you to make decisions when choosing a rational investment option for the development of transport infrastructure and increasing the capacity of railway sections of the landfill. The use of the proposed model makes it possible to identify areas with limited bandwidth in order to redistribute flows most effectively. These solutions will allow you to get the maximum possible economic effect by reducing the cost of transportation costs.

Keywords: container train, relaxation method, multigraph, capacity, railway landfill.

Теруге 18.03.24 ж. жіберілді. Басуға 29.03.24 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Мб RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4203

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

e-mail: nitk.tou.edu.kz

www.stk.tou.edu.kz