

А. Ю. ПАПАХОВ (ДНУЖТ), Н. А. ЛОГВИНОВА (ДНУЖТ), К. В. МАТВИЕНКО (ДНУЖТ)

Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепро, Украина, тел + 38-067-524-43-22, эл. почта: papahova0362@gmail.com, logvinovanata1987@gmail.com, dissertaciaz@gmail.com
ORCID: orcid.org/0000-0003-2357-8158, orcid.org/0000-0002-9350-881x, orcid.org/0000-0001-9054-7824

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ

Постановка проблемы

В настоящее время железные дороги работают в чрезвычайно сложных условиях. Резкое снижение объемов перевозимых грузов привело к закрытию многих станций, зачастую ставился вопрос о прекращении движения на целых направлениях и, соответственно, об изменении направления вагонопотоков. Вместе с тем в отрасли активно развиваются информационные технологии.

С изменением экономических взаимоотношений в стране и переориентации задач железнодорожного транспорта существующая теория организации вагонопотоков устарела. Старые принципы противоречат практике и тормозят развитие отрасли. Действует закреплённый в нормативных указаниях по организации вагонопотоков постулат: «оптимальный план формирования должен обеспечивать минимум вагоно-часов при накоплении вагонов и их переработке». При этом подразумевается, что через вагоно-часы можно выразить приведенные денежные затраты. С существующим критерием оптимизации непосредственно связано не более 9 – 10 % всех эксплуатационных расходов и 5 – 7 % затрат на основные производственные фонды [1].

Анализ последних исследований

В последнее время в научной печати чаще стали говорить о необходимости оценки плана формирования непосредственно в денежном выражении [2]. Данный подход не меняет сути, и в этом случае задача решается как однокритериальная (при этом учитываются более детально отдельные затраты). Чтобы найти выход на правильную теорию, следует понимать, что, в конечном итоге, на то или иное решение по организации вагонопотоков оказывает влияние человек, решение которого не может быть выражено четкими математическими зависимостями, а выражается экспертным методом. Другими словами функция полезности эксперта не может быть четко выражена. Отсюда вывод – данную задачу необходимо решать принципиально новым путем, учитывая при этом следующие допущения:

- в настоящее время стремительно развивается вычислительная техника и технологии по переработке информации, и ограничения по вычислительным ресурсам и возможностям конструирования, обработки и передачи информации в задаче расчета плана формирования не должны выступать лимитирующим фактором;

- организация вагонопотоков непрерывно связана со структурой сети железных дорог, и поэтому задачу расчета плана формирования нельзя решать в отрыве от видоизменения конфигурации сети технического оснащения станций и участков;

- необходимо стремиться к тому, чтобы разрабатывать не базовый план формирования на основе среднегодовых данных, подготовленных ПООЦ за прошедший год, а создать комплекс, позволяющий: как максимум – в реальном времени выдавать предложения по корректировке плана формирования, и, как минимум – осуществлять расчет планов, с периодической регулярностью (скажем раз в декаду) в АСК ВП УЗ-Є;

- задачу выбора плана формирования необходимо решать взаимоувязывая вопросы маршрутизации, требований грузоотправителей, оперируя как груженым, так и порожним вагонопотоком, неохваченным отправительской маршрутизацией, следующим в обоих направлениях;

- разрабатывая алгоритм решения задачи по выбору оптимального плана формирования, необходимо одновременно определиться по организации проведения этого расчета: порядку сбора и подготовки исходных данных, расчету, процедуре выбора рациональных вариан-

тов, принятию окончательного решения, выдаче заданий дорогам и станциям.

Статья [3] посвящена описанию метода расчёта оптимальных многофазных схем грузоперевозок в предположении, что при стремлении операторских компаний к оптимизации перемещений своих вагонов, рано или поздно, компании должны будут использовать схемы грузоперевозок, совпадающие с теми, которые могут быть рассчитаны предлагаемым методом. Фактически в статье речь идет о сложных задачах линейного программирования транспортного типа. В качестве метода решения этих задач рассматривается метод их сведения к задаче построения потока минимальной стоимости в подходящей транспортной сети. Такой подход к транспортным задачам хорошо известен [4]. Однако сама модель оптимизационной задачи и эффективность предлагаемого метода решения могут представлять, определённый интерес для специалистов. Описанный в статье метод оптимального планирования железнодорожных грузоперевозок реализован нами в системе MATLAB. В конкретных задачах возникают довольно большие размерности.

Постановка и решение данной задачи как многокритериальной -позволяет полнее охватить различные аспекты организации вагонопотоков. Существующие математические подходы дают возможность использовать методы интерактивного решения многокритериальной задачи, которые выявляют нетривиальные предпочтения эксперта в процессе человеко-машинного диалога и строят субъективную функцию полезности, отражающую реальное состояние дел на данном участке сети железных дорог, а не формальную модель приведенных затрат.

Таким образом, на современном этапе остро стоят задачи по развитию теории организации вагонопотоков на принципиально новой основе с учетом изменяющихся объемов перевозок, развитием информационной среды и средств вычислительной техники и необходимостью рассматривать организацию вагонопотоков в тесной увязке с топологией сети железных дорог.

При этом схема сети железных дорог рассматривается как статический объект (постоянные исходные данные), а варианты организации вагонопотоков однозначно определяют значения назначенных критериев в зависимости от объемов и структуры вагонопотока (переменные исходные данные). Физический грузовой вагон выступает в качестве динамического объекта.

Основанием для возможности применения различных математических моделей для решения задач оптимизации является понятие эквивалентности экстремальных задач, приведенных [5, 6].

Целью данной работы является обоснование и разработка нового теоретического подхода к решению задачи выбора рациональной организации вагонопотоков и разработка алгоритма ее решения в современных условиях функционирования транспорта информационных систем с учетом развития информатизации отрасли.

Основной задачей исследования есть организация вагонопотоков в сквозные поезда на технических станциях с минимальными затратами времени на их накопление.

Изложение основного материала

Сеть железных дорог моделируется графом $G(V, E)$ где V – перечень вершин графа (станции сети), E – перечень ребер графа (участка между станциями) [7].

Заданы вагонопотоки N_{ij} , где i – номер станции зарождения потока, j – номер станции его погашения.

Задачи маршрута S_{ij} следования вагонопотока N_{ij} .

Маршрут S_{ij} задается как перечень вершин графа (станций) следования, т.е. $S_{ij} = [i, k_1, k_2, \dots, k_e, j]$ – элементарный путь без самопересечений.

Если S_{ij} содержит станцию K_m , то на этой станции вагонопоток может быть переработан.

Для каждого участка e_{ij} (дуги графа) задана величина $(cm)_{ij}$, где c – параметр накопления, m – состав поезда.

Другими словами величина $(cm)_{ij}$ – затрата на накопление вагонов на одно формируемое назначение по направлению e_{ij} .

Замечание. Величины $(cm)_{ij}$ задаются с учетом периода (сутки, месяц), по которому заданы вагонопотоки N_{ij} .

Для каждого участка (ребра графа) задана величина $T_{экиj}$ – экономия от проследования одного вагона, проходящего по e_{ij} через станцию i без переработки.

Для каждой станции i задано число путей n_i^u в четном парке и число путей n_i^h в нечетном парке.

Для каждого участка e_{ij} задан признак формирования $\gamma_{ij} = 0$ в четном парке или $\gamma_{ij} = 1$ в нечетном парке.

Заданы обязательные и запрещенные назначения плана формирования одногруппных поездов. Считаем, что все участковые назначения являются обязательными.

Вариант плана формирования одногруппных поездов характеризуется следующими величинами:

а) ζ_{ij} – равно единице, если план формирования содержит назначение (i, j) и нулю в противном случае.

б) ξ – равно единице, если вагонопоток включается в назначение (i, j) и нулю – в противном случае.

Вагонопоток N_{em} может быть включен в назначение (i, j) , если $\zeta_{ij} = 1$ и маршрут S_{ij} является отрезком маршрута S_{em} или совпадает с ним $S_{ij} \in S_{em}$.

Далее для каждого ненулевого вагонопотока N_{em} вводит величины ξ_{ij}^{lm} , которые должны определены так, что назначения (i, j) , для которых $\xi_{ij}^{lm} = 1$ образуют последовательность $(i, k), (k_1, k_2) \dots (k_{q,j})$, которую называют путем по назначениям.

Если вагонопоток N_{em} включается в назначения $(i, k), (k_1, k_2) \dots (k_{q,j})$, то вагонопоток подвергается переработке на станциях k_1, k_2, \dots, k_q .

При этом вводит условие непрерывного потока N_{em} в виде

$$\sum_{j=1}^N (\xi_{ij}^{lm} - \xi_{ji}^{lm}) = \begin{cases} 1, & \text{если } i = 1; \\ -1, & \text{если } i = m; \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

в) Если назначение (i, j) включено в план формирования, то вводится понятие мощности назначения n_{ij} , определяемое по формуле:

$$n_{ij} = \sum_{l,m=1}^N N_{lm} \xi_{ij}^{lm}$$

г) Проведенные затраты вагоно-часов на накопление по станции i определяется так

$$\sum_{j=1}^N (n_{ij} - N_{ij}) T_{ij}, \text{ где } T_{ij} = T_{\text{эк}i,j}.$$

е) $\sum NT$ – суммарные проведенные затраты вагоночасов на накопление и переработку по заданному варианту плана формирования одногруппных поездов определяется по формуле:

$$\sum NT = \sum_{i,j=1}^N \{ [cm]_{ij} \zeta_{ij} + (n_{ij} - N_{ij}) T_{ij} \}.$$

Далее формируется задача:

$$C = \sum_{i,j=1}^N \{ [cm]_{ij} \zeta_{ij} + n_{ij} T_{ij} \} \rightarrow \min \quad (1)$$

при условиях

$$n_{ij} = \sum_{l,m=1}^N N_{lm} \xi_{ij}^{lm}, \quad i, j = \overline{1, N} \quad (2)$$

$$\xi_{ij}^{lm} \leq \zeta_{ij}, \quad i, j, l, m = \overline{1, N} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N (\xi_{ij}^{lm} - \xi_{ji}^{lm}) = \begin{cases} 1, & \text{если } i = l; \\ -1, & \text{если } i = m; \\ 0 - & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (4)$$

$$\zeta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (i, j) \in M_o; \\ 0, & \text{если } (i, j) \in M_z; \\ 0 \text{ либо } 1 & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (5)$$

где M_o – обязательные назначения;

M_z – запрещенные назначения.

$$\xi_{ij}^{lm} = \begin{cases} 0, & \text{если } S_{ij} \notin S_{lm} \\ 0 \text{ либо } 1, & \text{если } S_{ij} \in S_{lm}, \quad i, j, l, m = \overline{1, N} \end{cases} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N S_{ij} \gamma_{ij} \leq n_i^u, \quad i = \overline{1, N} \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^N S_{ij} (1 - \gamma_{ij}) \leq n_i^h, \quad i = \overline{1, N} \quad (8)$$

Таким образом должны быть определены S_{ij} , ξ_{ij}^{lm} по заданным вагонопотокам N_{ij} , приведенным затратам на накопление $(cm)_{ij}$ и переработку T_{ij} , количеству путей n_i^u , n_i^h и множествам M_o , M_z .

Изложенная задача (1) - (8) в математическом плане представляет собой задачу линейного программирования в булевых перемен-

ных, которую в стандартном виде можно записать следующим образом:

$$c = \sum_{j=1}^N c_j x_j \rightarrow \min \tag{9}$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = \overline{1, m} \tag{10}$$

где N – общее число булевых переменных в постановке (1) - (8),

x_j – булевы переменные.

Существование решения задачи (9) - (10), а тем самым и задачи в виде (1) - (8) не вызывает сомнения в силу конечного числа вариантов, удовлетворяющих ограничениям (10).

В соответствии с алгоритмом, на первом этапе необходимо распределение заданного количества груза, который перевозиться вагонопотоком N_{ij} , производится за несколько итераций, на s -й из которых распределяется лишь h_s доля всех корреспонденций вагонопотоков, добавляясь к ранее отправленным. Принимая h_s постоянными, получим, что при M итерациях первого этапа на каждой из них распределяется $\frac{1}{M}$ доля всех корреспонденций. Рассмотрим вопрос о влиянии величины M на качество полученного на первом этапе решения. При однородной целевой функции решение на первом этапе сходится к оптимальному при $M \rightarrow \infty$. Покажем на абстрактном примере, что при нарушении условия однородности функций затрат решение, получающееся в результате работы алгоритма первого этапа, к оптимальному может не сходиться.

Рассмотрим простейший полигон сети на рисунке 1.

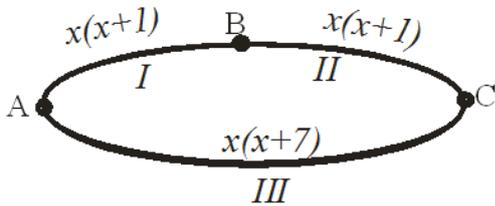


Рис. 1. Простейший полигон сети

Над звеньями на рис. 1 проставлены функции затрат на участке, где x - суммарное значение вагонопотоков по ним в обоих направлениях. Под звеньями проставлены их номера. Пусть из A в B требуется перевезти $Q_{AB} = 6$ ед. груза, а из A в C

$Q_{AC} = 3$ ед. груза. Оптимально будет все 6 ед. груза в B направить по дуге I , а весь груз в C по дуге III - суммарные затраты при этом будут равны 72 ед. Оптимальность такого решения легко проверяется условием потенциальности плана. Действительно, при данной нагрузке сети дифференциальные расценки стоимости перевозок по участкам составят: $C_{AB} = C_{BA} = 13$; $C_{CB} = C_{BC} = 1$; $C_{AC} = C_{CA} = 13$ и дифференциальная стоимость выбранного для каждой корреспонденции маршрута наименьшая из возможных. Действительно, потенциалы $U_A = 0$; $U_B = 13$; $U_C = 13$ удовлетворяют следующим необходимому и достаточному условию минимума в точке \check{X} , в которой обеспечено существование для каждого неизменяемого вагонопотока рода вагона l такой системы потенциалов u_i^l , чтобы для каждой j (I, II, III) дуги выполнялись условия:

$$u_{i1}^l - u_{i2}^l \leq \frac{\partial F}{\partial x_i^l}, \tag{11}$$

причем при $\check{x}_i^l > 0$ имеет место строгое равенство

$$u_{i1}^l - u_{i2}^l = \frac{\partial F}{\partial x_i^l}, \tag{12}$$

Отсюда план является оптимальным.

Рассмотрим, как будут распределяться корреспонденции в соответствии с алгоритмом первого этапа. Принимаем $M = 3$ и пусть первой всегда накладывается доля корреспонденции AB . Очевидно, что корреспонденции в B всегда будут идти только по дуге I . После накладки первой доли корреспонденции AB (2 ед.) загрузка дуги I станет 2, а стоимость перевозки 5. Незагруженные участки II и III имеют стоимости 1 и 7 соответственно. Поскольку дифференциальная стоимость пути в C через B , равная 6 ед., меньше дифференциальной стоимости пути в C по III дуге (7 ед.), то первая порция корреспонденции в C пойдет по дугам I, II . На остальных итерациях доли корреспонденции в C пойдут по дуге III . Полученное распределение потоков будет: AB — 7 ед., BC — 1 ед., AC — 2 ед., а суммарные затраты равны 76 ед.

При увеличении M доля корреспонденции AC , идущая по дугам I, II уменьшится, но останется более или равной $\frac{5}{8}$ единицы. Эта цифра получена следующим образом. Будем считать, что $M \rightarrow \infty$ и обозначим через λ до-

лю уже распределенных корреспонденций. Определим значение λ и загрузку звеньев *I, II*, при которых дифференциальные стоимости пути в *C* по этим дугам и по дуге *III* при ее нулевой загрузке равны, так как только после этого поток из *A* в *C* пойдет по дуге *III*. Загрузка звеньев *I, II* при этом, очевидно, должна удовлетворять соотношению

$$2(q_1 + q_2) + 1 + 2q_2 + 1 = 7$$

где q_1, q_2 – соответственно части корреспонденций *AB* и *AC*, идущие по дугам *I, II*.

Учитывая, что $q_1 = \lambda \cdot 6$; $q_2 = \lambda \cdot 3$, получим $\lambda = \frac{5}{24}$, откуда следует $q_2 = \frac{5}{8}$. Суммарные затраты при этом равны $\approx 73,7$, что на 2,5 % больше, чем в оптимальном плане.

Этот абстрактный пример довольно точно отражает процессы, происходящие на первом этапе и при реальных функциях затрат. Суть этих процессов заключается в следующем – первые доли корреспонденций могут пойти по наиболее технически оснащенным линиям, допуская кружности, заполняя пропускную способность, предназначенную в оптимальном плане для других корреспонденций.

Этот эффект усиливается за счет появления на первом этапе псевдопорожних направлений из-за того, что дифференциальные стоимости провоза единицы груза по участку в грузовом направлении значительно больше, чем в порожнем. Алгоритм оптимизирует распределение потоков с целью максимально выгодной загрузки порожнего направления. Но этот процесс работает правильно и сходится к оптимальному решению лишь на втором этапе, когда допустимый план перевозок построен и действительные порожние направления определены. В этом случае алгоритм первого этапа может переложить на них поток с сильно нагруженных параллельных линий, даже за счет кружности. Может иногда оказаться целесообразным сделать некоторое порожнее направление грузовым.

На первом же этапе, пока вся шахматная таблица корреспонденций вагонопотоков полностью не распределена, нельзя точно определить грузовое направление. Например, после накладки первой же порции первой корреспонденции на «чистую» сеть сразу возникает порожнее направление, встречное ее маршруту, которое после распределения всей шахматки может оказаться и грузовым. Однако уже следующая накладываемая порция может пойти необоснованной с точки зрения оптимального

плана кружностью, с целью загрузки возникшего к моменту ее накладки дешевого порожнего маршрута.

Альтернативами описанного алгоритма первого этапа могут служить наложение всей шахматки на сеть по кратчайшим путям или по заданным экспертным расценкам участков сети. Однако, как показывают расчеты, при сильно насыщенной шахматке это приводит в первом случае к чрезмерной перегрузке отдельных линий. Для их разгрузки необходимо большое число итераций второго этапа, что в итоге вызывает в свою очередь увеличение времени решения задачи. При наложении же шахматки по заданным экспертным расценкам, во-первых, также останется опасность сильной перегрузки отдельных линий, поскольку наложение производится линейными методами, а во-вторых, возможны ошибки в априорном определении грузовых и порожних направлений, что приводит к значительному ухудшению допустимого плана.

Затраты на механическую работу по перевозке груза в прямом и обратном направлениях составляют [8]

$$C_k = 0,365LN_k \left[\begin{matrix} P(w'_0 + i_k^{ЭК}) + \\ + Q_k(w''_k + i_k^{ЭК}) \end{matrix} \right] C''_{ткм} \quad (13)$$

где $k=1$ – в прямом и $k=2$ – в обратном направлении;

L – длина звена, км;

Q_k – масса груженого поезда брутто, т;

P – масса локомотива, т;

N_k – количество грузовых поездов данного направления;

w'_0 – сопротивление движению локомотива, Н/м;

w''_k – сопротивление движению груженого вагона, Н/м;

$i_k^{ЭК}$ – эквивалентный уклон, ‰;

$C''_{ткм}$ – затраты электроэнергии на 1 ткм работы локомотива по преодолению основного сопротивления.

Затраты на механическую работу по перевозке порожних вагонов определяются аналогично

$$C_{пер} = 0,365LC''_{ткм} \cdot \left[\begin{matrix} P(w'_0 + i_k^{ЭК}) + \\ + Q_{пор}(w''_{пор} + i_k^{ЭК}) \end{matrix} \right] (N_1 - N_2) \quad (14)$$

где $Q_{пор}$ – масса порожнего поезда, m ;

$w'_{пор}$ – сопротивление движению порожнего вагона, H/m .

Решение данной задачи выполнено в программе в среде Maple, которая позволяет найти оптимальное решение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экономика пассажирского транспорта: учебное пособие [Текст] / коллектив авторов; под общей ред. проф. В.А. Персианова. – М.: КНОРУС, 2012.-400 с.

2. Ковалев, В.И. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте: учебник в 2 томах, т. 2 [Текст] / В.И. Ковалев, А.Т. Осминин, В.А. Кудрявцев и др.; под ред. В.И. Ковалева и А.Т. Осминина.- М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011.- 440 с.

3. Баушев, А. Н. Математическая модель многофазных железнодорожных грузоперевозок [Текст] / А. Н. Баушев, А. Т. Осминин, Л. А. Осминин // Журнал Математическое моделирование, т. 25:10 (2013), 108–122

4. Басакер Р. Конечные графы и сети [Текст] / Басакер Р., Саати Т. - М.: Наука, 1974.

5. Баушев, А.Н. Оптимизационные задачи на сетях. Уч. пособие [Текст] / А.Н. Баушев, Л.В. Гадасина - СПб.: ПГУПС, 2010, 137 с.

6. Хачиян, Д.Г. Сложность задач линейного программирования. [Текст] / Д.Г. Хачиян – М.: Знание, 1987, 32 с.

7. Папахов, А.Ю. Математическая модель расчета плана формирования однопутных сквозных поездов с использованием теории множеств [Текст] / А.Ю Папахов, Н.А. Логвинова// – Издательство Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна: Научный журнал «Электрификация транспорта» вип. 11, 2016, – С 93 - 99.

8. Папахов, А.Ю. Доставка грузов по сети железных дорог с учетом пропускной способности перегонов как задача векторной оптимизации [Текст] / А.Ю Папахов, Н.А. Логвинова// – Издательство Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна: Научный журнал «Транспортные системы и технологии перевозок» вип. 11, 2016, – С 55 - 60.

Вывод

Из приведенного выше следует, что предложенный новый метод решения может быть использован при решении задачи организации вагонопотоков на полигоне сети железных дорог.

REFERENCES

1. Economy of passenger transport: textbook [Text] / team of authors; Under the general ed. Prof. V. Persianova. - Moscow: KNORUS, 2012.-400 p.

2. Kovalev V. Management of operational work in railway transport: a textbook in 2 volumes, vol. 2 [Text] / V. Kovalev, A. Osminin, V. Kudryavtsev and others; Ed. in and. Kovalev and A. Osminina .- M .: FGOU "Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport", 2011.- 440 p.

3. Baushev, A. Mathematical model of multi-phase railroad cargo transportation, [Text] / A. Baushev, A. Osminin, L.Osminin // Journal of Mathematical Modeling, vol. 25:10 (2013), p. 108-122

4. Basaker R. Finite graphs and networks [Text] / Basaker R., Saati T .. - M .: Nauka, 1974.

5. Baushev, A. Optimization tasks on networks. Uch. Allowance [Text] / A. Baushev, L. Gadasina - St. Petersburg: PGUPS, 2010, 137 p.

6. Khachiyan, D. Complexity of linear programming problems. [Text] / D. Khachiyan - M.: Knowledge, 1987, 32 p.

7. Papakhov, A. Mathematical model for calculating the plan for the formation of one-group through-trains using set theory [Text] / A. Papakhov, N. Logvinova // - Publishing house of the Dnepropetrovsk railway university named after academician V. Lazaryan: Scientific journal "Electrification of transport". 11, 2016, - p. 93 - 99.

8. Papakhov A. Deliveries of cargoes on a network of railways taking into account carrying capacity of distances as a vector optimization problem [Text] / A. Papakhov, N. Logvinova // Publishing house of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan: Scientific journal "Transport systems and transport technologies". 11, 2016, - p. 55 - 60.

Поступила в печать 23.05.2017.

Внутренний рецензент Кузнецов В. Г.

Внешний рецензент Босов А. А.

Целью данной работы является обоснование и разработка нового теоретического подхода к решению задачи выбора рациональной организации вагонопотоков и разработка алгоритма ее решения в современных условиях функционирования транспорта информационных систем с учетом развития информатизации отрасли. Основной задачей исследования есть организация вагонопотоков в сквозные поезда на технических станциях с минимальными затратами времени на их накопление. Объектом исследования выступает сеть железнодорожных технических станций расчетного полигона. Предметом исследования есть организация вагонопотоков в сквозные поезда. Методом исследования является теория функций множества. Научная новизна заключается в решении задачи линейного программирования в булевых переменных с помощью функций множества приводя к поиску множества минимизирующего функцию цели при некоторых ограничениях на элементы данного множества. Получены необходимые условия решения задачи векторной оптимизации при организации вагонопотоков на полигоне выделенных станций сети.

Ключевые слова: организация вагонопотоков; функции множества.

УДК 626.212

А. Ю. ПАПАХОВ (ДНУЗТ), Н. А. ЛОГВИНОВА (ДНУЗТ), К. В. МАТВИЕНКО (ДНУЗТ)

Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел+38-067-564-65-65, ел.пошта: papahova0362@gmail.com, logvinovanata1987@gmail.com, dissertaciaz@gmail.com ORCID: orcid.org/0000-0003-2357-8158, orcid.org/0000-0002-9350-881x, orcid.org/0000-0001-9054-7824

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАГОНОПОТОКІВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ МНОЖИН

Метою даної роботи є обґрунтування і розробка нового теоретичного підходу до вирішення задачі вибору раціональної організації вагонопотоків та розробка алгоритму її рішення в сучасних умовах функціонування транспорту інформаційних систем з урахуванням розвитку інформатизації галузі. Основною задачею дослідження є організація вагонопотоків в наскрізні поїзди на технічних станціях з мінімальними витратами часу на їх накопичення. Об'єктом дослідження виступає мережа залізничних технічних станцій розрахункового полігону. Предметом дослідження є організація вагонопотоків в наскрізні поїзди. Методом дослідження є теорія функцій безлічі. Наукова новизна полягає у вирішенні задачі лінійного програмування в булевих змінних за допомогою функцій безлічі приводячи до пошуку безлічі мінімізує функцію мети при деяких обмеженнях на елементи даної множини. Отримані необхідні умови розв'язання задачі векторної оптимізації при організації вагонопотоків на полігоні виділених станцій мережі.

Ключові слова: організація вагонопотоків; функції безлічі.

Внутрішній рецензент *Кузнецов В. Г.*

Зовнішній рецензент *Босов А. А.*

UDC 626.212

O. PAPAHOV (DNURT) N. LOGVINOVA (DNURT) K. MATVIENKO (DNURT)

Dep. "Management of operational work," Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan st. Lazaryan, 2, 49010, Dnepropetrovsk, Ukraine Tel + 38-067-524-43-22, e-mail: papahova0362@gmail.com, logvinovanata1987@gmail.com, dissertaciaz@gmail.com ORCID: orcid.org/0000-0003-2357-8158, orcid.org/0000-0002-9350-881x, orcid.org/0000-0001-9054-7824

IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF CARGO TRANSMISSION ORGANIZATION FOR THE ACCOUNT OF USING THE THEORY OF SETS

The purpose of this work is to substantiate and develop a new theoretical approach to solving the problem of choosing the rational organization of carload streams and to develop an algorithm for its solution in the current conditions of transport of information systems, taking into account the development of the informatization of the industry. The main task of the study is the organization of railroad car flows into through trains at technical stations with minimal time spent on their accumulation. The object of the study is a network of railway technical stations of the estimated test site. The subject of the study is the organization of car trains into through trains. The method of investigation is the theory of set functions. The scientific novelty lies in the solution of the problem of linear programming in boolean variables by means of the set functions, leading to the search for the set of the goal minimizing function with some restrictions on the elements of the given set. The necessary conditions for the solution of the vector optimization problem for the organization of wagon flows at the polygon of the selected stations of the network are obtained.

Keywords: organization of car trains; set functions .

Internal reviewer *Kuznetsov V. G.*

External reviewer *Bosov A. A.*