

УДК 625.1

Методика выбора мест и способов заготовки материалов верхнего строения пути при восстановлении железных дорог силами Железнодорожных войск и структурных подразделений ОАО «РЖД»

А. А. Мирошник

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

Для цитирования: *Мирошник А. А.* Методика выбора мест и способов заготовки материалов верхнего строения пути при восстановлении железных дорог силами Железнодорожных войск и структурных подразделений ОАО «РЖД» // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 2. — С. 476–483. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-476-483

Аннотация

Цель: Оптимальный выбор мест и способов заготовки материалов верхнего строения пути при восстановлении железных дорог силами Железнодорожных войск и структурных подразделений ОАО «РЖД». **Метод:** Линейное программирование. **Результаты:** Предложена оптимальная методика выбора мест и способов заготовки материалов верхнего строения пути. **Практическая значимость:** Методике выбора мест и способов заготовки материалов верхнего строения пути силами Железнодорожных войск и структурных подразделений ОАО «РЖД» можно рекомендовать использовать при восстановлении железных дорог в границах территориальной ответственности, например в районе проведения специальной военной операции.

Ключевые слова: Материалы верхнего строения пути, материально-техническое обеспечение, восстановление железных дорог, математическая модель, система материально-технического обеспечения, целевая функция, ограничения модели.

Введение

Основой автоматизированной методики выбора мест и способов заготовки материалов в системе материально-технического обеспечения является одноименная задача (модель), сформулированная в [1, 2] как задача линейного программирования. Автором предложен подход использования модели линейного программирования для выбора мест и способов заготовки материалов верхнего строения пути (далее — ВСП) в рамках моделирования системы материально-технического обеспечения Железнодорожных войск при взаимодействии со структурными подразделениями (специформированиями) ОАО «РЖД».

В настоящее время значительный фонд оптимизационных программ, созданных для ЭВМ старого поколения, невозможно использовать для реализации в IBM-совместимых компьютерах на базе современных процессоров. Наряду с этим разработка таких программ для указанных выше ПЭВМ требует существенных затрат временных и интеллектуальных ресурсов. Поэтому представление, в рамках приложения, порядка применения в среде пакета прикладных программ MathCAD широкого класса задач оптимизации — задач линейного программирования является весьма актуальным.

Задача выбора мест и способов заготовки материалов ВСП при восстановлении железных

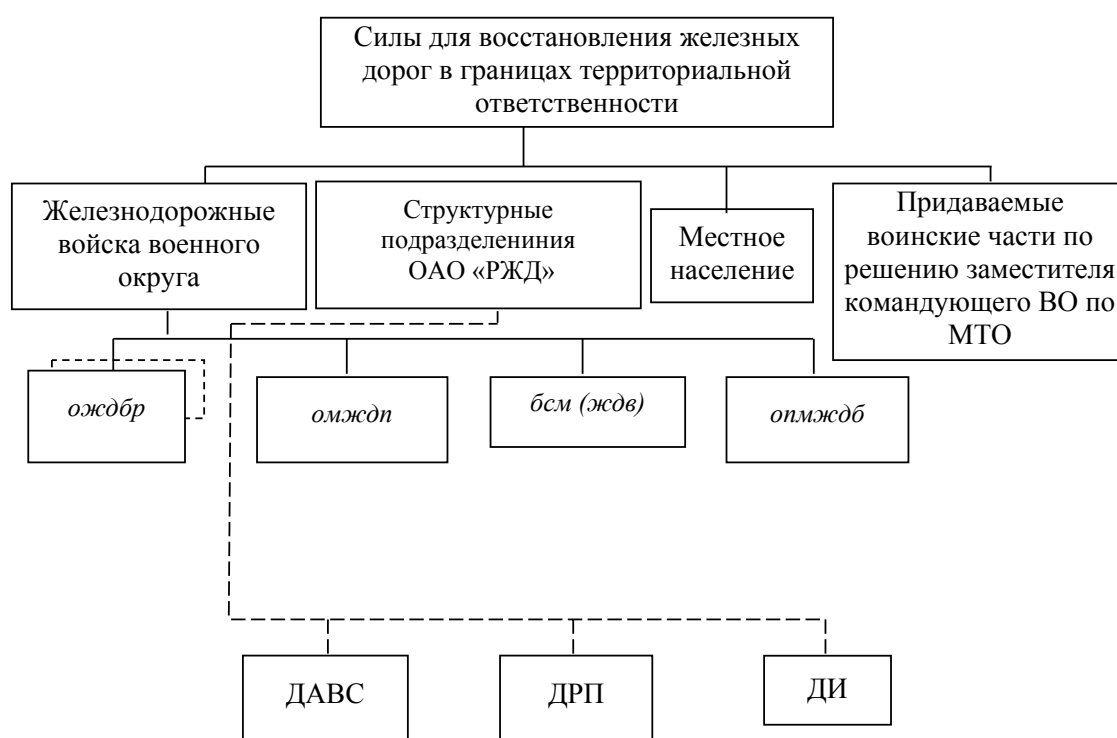


Рис. 1. Структура сил для восстановления железных дорог в границах территориальной ответственности

дорог является актуальной и непростой. Структура сил, предназначенных для восстановления железных дорог в границах территориальной ответственности, представлена на рис. 1.

В реальных условиях возможны изменения типового состава по задачам и условиям их выполнения, используя линейное программирование [3–5].

Постановка задачи

На восстанавливаемом участке располагаются N ($r = 1, 2, \dots, N$) мест потребления материалов ВСП. Надобность материалов в r -месте в τ -е сутки ($\tau = 1, 2, \dots, T$) — $Q_{r\tau}$ (км). Материалы ВСП возможно заготавливать в m ($i = 1, 2, \dots, m$) местах по одному из n ($j = 1, 2, \dots, n$) предложенных способов. Допустимость принятия материалов ВСП в месте i по способу j в τ -е сутки — $\Pi_{ij\tau}$ (км). Приведенные затраты составляют C_{ijr} (чел.-дней). Транспортировку материалов ВСП

в τ -е сутки осуществляет автотранспорт грузоподъемностью g_τ (т). Пробег в сутки с грузом равен l_τ (км). Протяженность между r -м местом потребления материалов ВСП и ij -м местом заготовки равно l_{ijr} (км).

Определим оптимальный (своевременный и полный) план заготовки материалов ВСП, учитывая наличие автотранспорта и ресурсные затраты.

Математическая постановка задачи имеет вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^N \sum_{\tau=1}^T C_{ijr} x_{ijr\tau} \rightarrow \min; \quad (1)$$

ограничения:

$$\sum_{r=1}^N x_{ijr\tau} \leq \Pi_{ij\tau} \quad (\tau = \overline{1, T}), \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijr\tau} = Q_{r\tau} \quad (\tau = \overline{1, T}, r = \overline{1, N}), \quad (3)$$

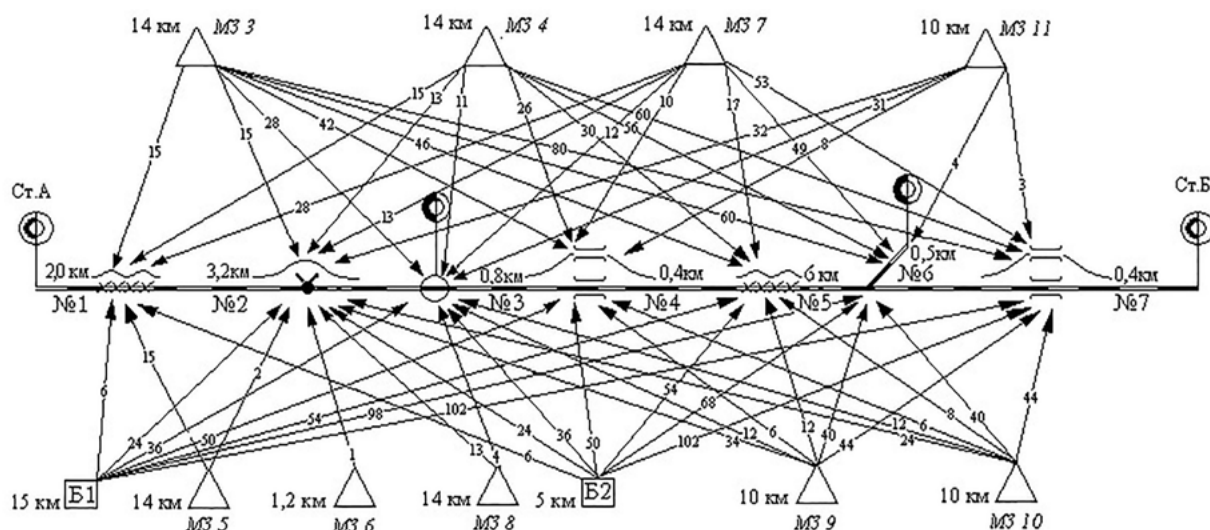


Рис. 2. Возможные места заготовки и плечи подвоза материалов верхнего строения пути

Таблица 1. Наличие материалов и возможности их заготовки

Номера объектов, r	Наличие Π_{jt}				Номер схемы заготовки
	День 3 τ	День 4 τ	День 5 τ	День 6 τ	
База 1	15	—	—	—	1
База 2	5	—	—	—	2
МЗ 3	2	4	4	4	3
МЗ 4	2	4	4	4	3
МЗ 5	2	4	4	4	5
МЗ 6	1,2	—	—	—	3
МЗ 7	2	4	4	4	3
МЗ 8	2	4	4	4	6
МЗ 9	—	2	4	4	3
МЗ 10	—	2	4	4	7
МЗ 11	—	2	4	4	3

Таблица 2. Потребность материалов для восстановления ВСП

Номера объектов, r	Потребность по дням восстановления Q_{rt}			
	День 3 τ	День 4 τ	День 5 τ	День 6 τ
1	2,0	—	—	—
2	—	3,2	—	—
3	—	—	0,8	—
4	—	—	—	0,4
5	—	2,0	4,0	—
6	—	—	—	0,5
7	—	—	—	0,4
Итого	2,0	5,2	4,8	1,3

Таблица 3. Характеристики возможностей автотранспорта

Грузоподъемность автотранспорта по суткам, т				Средне-суточный пробег, км	Вес 1 км материалов ВСП, т
День 3 τ	День 4 τ	День 5 τ	День 6 τ		
30	130	100	20	100	210

Таблица 4. Макет приведенных затрат ресурсов C_{ijr}

Номера баз (пунктов заготовок)	Наличие материалов на каждом пункте	Номера объектов						
		1	2	3	4	5	6	7
		Потребность материалов Q_r на каждом из них						

Таблица 5. Макет формы исходных данных

Имеющиеся материалы $\Pi_{j/t}$		Надобность материалов для объектов Q_{rt}							
		День 3		День 4		День 5		День 6	
		№ объектов							
		1	2	5	3	5	4	6	7

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^N l_{ijr} \cdot x_{ijr\tau} \leq \frac{g_{\tau} \cdot l_{\tau}}{p_1} \quad (\tau = \overline{1, T}), \quad (4)$$

где p_1 — вес 1 км ВСП, т.

Зависимость (1) — целевая функция задачи, устанавливает минимизацию затрат потребляемых ресурсов. Ограничения (2), (3) и (4) означают ограничения по:

- наличию материалов ВСП на базах и местах заготовки;
- потребности в материалах восстанавливаемых объектов;
- потребности в автомобильном транспорте.

Данные (исходные) представлены на рис. 2 и в табл. 1–4.

Кроме этого, в табл. 5 приведена структура искомым величин задачи, т. е. множество таких $x_{i,j}$ ($i = \overline{1, 11}$, $j = \overline{1, 7}$).

Результаты исследования

Решение задачи начинается с ввода данных в матрицы и переменные, представленные на рис. 3. Данные в матрицу **nal** переносятся из

табл. 1, в матрицу **z** — из табл. 4, в матрицу **at** — из табл. 3, а матрица **r** формируется на основе рис. 1, причем i -я строка в ней должна содержать расстояния от i -го пункта заготовки (базы) до всех объектов в порядке возрастания их номеров. Если на рис. 1 пункт заготовки(база) с объектом не соединяется, то в матрицу записываем 500.

Матрица **ob** формируется на основе информации из табл. 5. Следующим шагом решения задачи является формирование исходного допустимого решения задачи [6, 7] (рис. 4).

Искомым величинам задачи $x_{i,j}$ присваивают нулевые значения. Все остальные данные (рис. 3) вводятся без изменений.

Следует отметить, что ограничения по неотрицательности переменных ($x_{i,j} \geq 0$) задаются одним оператором $x \geq 0$.

На рис. 5 изображены ограничения по:

- наличию материалов ВСП на i -й базе (пункте, месте заготовки);
- по потребности r -го объекта в материалах ВСП для определенного дня работы.

Массив наличия	Массив расстояний между базами (пунктами заготовки) и объектами	Массив приведенных затрат
$\text{nal} := \begin{pmatrix} 15000 \\ 5000 \\ 2444 \\ 2444 \\ 2444 \\ 12000 \\ 2444 \\ 2444 \\ 0244 \\ 0244 \\ 0244 \end{pmatrix}$	$r := \begin{pmatrix} 6 & 24 & 36 & 50 & 54 & 98 & 102 \\ 6 & 24 & 36 & 50 & 54 & 38 & 102 \\ 15 & 15 & 28 & 42 & 46 & 60 & 80 \\ 15 & 13 & 11 & 26 & 30 & 56 & 60 \\ 15 & 2 & 500 & 500 & 500 & 500 & 500 \\ 500 & 1 & 500 & 500 & 500 & 500 & 500 \\ 28 & 13 & 12 & 13 & 17 & 49 & 53 \\ 500 & 13 & 4 & 500 & 500 & 500 & 500 \\ 500 & 84 & 12 & 6 & 12 & 40 & 44 \\ 500 & 24 & 12 & 6 & 8 & 40 & 44 \\ 500 & 32 & 31 & 8 & 500 & 3 & 4 \end{pmatrix}$	$z := \begin{pmatrix} 92 & 122 & 208 & 386.5 & 321 & 581 & 703 \\ 67.2 & 92.8 & 180.5 & 355 & 130.6 & 549.5 & 674 \\ 0 & 115.5 & 200 & 367 & 151.8 & 492 & 599 \\ 123 & 87.1 & 136.7 & 268.5 & 129.2 & 391 & 476 \\ 213.3 & 178.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 96.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 149.5 & 200.2 & 96.5 & 189 & 110.3 & 354.5 & 435 \\ 0 & 104.6 & 133.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 129.1 & 141.5 & 147.5 & 98.8 & 310 & 369.5 \\ 0 & 129.2 & 141.5 & 149.5 & 98.8 & 310 & 369.5 \\ 0 & 143 & 174 & 159.5 & 0 & 201 & 262.5 \end{pmatrix}$
Массив возможностей автотранспорта подвоза	Массив номеров дней работы, номеров объектов и потребностей	
$\text{at} := (30 \ 130 \ 100 \ 20 \ 100 \ 210)$	$\text{ob} := \begin{pmatrix} 3 & 4 & 4 & 5 & 5 & 6 & 6 & 6 \\ 1 & 2 & 5 & 3 & 5 & 4 & 6 & 7 \\ 2 & 3.2 & 2 & 0.8 & 4 & 0.4 & 0.5 & 0.4 \end{pmatrix}$	
$\text{nstr} := 11 \quad \text{nstlb} := 8$		

Рис. 3. Исходные данные задачи

Модификация массива приведенных затрат

$\text{ORIGIN} := 1$ $j := 1..n\text{stlb}$ $i := 1..n\text{str}$
 $\text{nnl}(k, m) := \begin{cases} 1 & \text{if } (k > 0 \wedge m > 0) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$ $a_{ij} := \text{nnl}(\text{nal}_{i, \text{ob}_{1,j-2}}, z_{i, \text{ob}_{2,j}})$ $\text{zmod}_{ij} := z_{i, \text{ob}_{2,j}}$
 $c_{ij} := \text{zmod}_{ij} \cdot a_{ij}$

Целевая функция задачи

$f(x) := \sum_{i=1}^{n\text{str}} \sum_{j=1}^{n\text{stlb}} c_{ij} \cdot x_{ij}$

Исходное решение задачи

$i := 1..n\text{str} \quad j := 1..n\text{stlb} \quad x_{ij} := 0$

Блок решения задачи

Given
 $x \geq 0$

Рис. 4. Формирование допустимого (исходного) решения задачи

Ограничения по наличию материалов на базах и пунктах заготовки в Д3, Д4, Д5 и Д6

$x_{1,1} \leq \text{nal}_{1,1}$	$x_{3,2} + x_{3,3} \leq \text{nal}_{3,2}$	$x_{3,4} + x_{3,5} \leq \text{nal}_{3,2}$	$x_{3,6} + x_{3,7} + x_{3,8} \leq \text{nal}_{3,4}$
$x_{2,1} \leq \text{nal}_{2,1}$	$x_{4,2} + x_{4,3} \leq \text{nal}_{4,2}$	$x_{4,4} + x_{4,5} \leq \text{nal}_{4,3}$	$x_{4,6} + x_{4,7} + x_{4,8} \leq \text{nal}_{4,4}$
$x_{4,1} \leq \text{nal}_{4,1}$	$x_{5,2} \leq \text{nal}_{5,2}$	$x_{7,4} + x_{7,5} \leq \text{nal}_{7,3}$	$x_{7,6} + x_{7,7} + x_{7,8} \leq \text{nal}_{4,4}$
$x_{5,1} \leq \text{nal}_{5,1}$	$x_{7,2} + x_{7,3} \leq \text{nal}_{7,2}$	$x_{8,4} \leq \text{nal}_{8,3}$	$x_{9,6} + x_{9,7} + x_{9,8} \leq \text{nal}_{9,4}$
$x_{7,1} \leq \text{nal}_{7,1}$	$x_{8,2} \leq \text{nal}_{8,2}$	$x_{9,4} + x_{9,5} \leq \text{nal}_{9,3}$	$x_{10,6} + x_{10,7} + x_{10,8} \leq \text{nal}_{10,4}$
	$x_{9,2} + x_{9,3} \leq \text{nal}_{9,2}$	$x_{10,4} + x_{10,5} \leq \text{nal}_{10,3}$	$x_{11,6} + x_{11,7} + x_{11,8} \leq \text{nal}_{11,4}$
	$x_{10,2} + x_{10,3} \leq \text{nal}_{10,2}$	$x_{11,2} \leq \text{nal}_{11,2}$	$x_{11,4} \leq \text{nal}_{11,3}$

Ограничения по потребности в материалах

объекта №1 в Д3	$x_{1,1} + x_{2,1} + x_{4,1} + x_{5,1} + x_{7,1} = \text{ob}_{3,1}$
объекта №1 в Д4	$x_{3,2} + x_{4,2} + x_{5,2} + x_{7,2} + x_{8,2} + x_{9,2} + x_{10,2} + x_{11,2} = \text{ob}_{3,2}$
объекта №1 в Д4	$x_{3,3} + x_{4,3} + x_{7,3} + x_{9,3} + x_{10,3} = \text{ob}_{3,3}$
объекта №1 в Д5	$x_{3,4} + x_{4,4} + x_{7,4} + x_{8,4} + x_{9,4} + x_{10,4} + x_{11,4} = \text{ob}_{3,4}$
объекта №1 в Д5	$x_{3,5} + x_{4,5} + x_{7,5} + x_{9,5} + x_{10,5} = \text{ob}_{3,5}$
объекта №1 в Д6	$x_{3,6} + x_{4,6} + x_{7,6} + x_{9,6} + x_{10,6} + x_{11,6} = \text{ob}_{3,6}$
объекта №1 в Д6	$x_{3,7} + x_{4,7} + x_{7,7} + x_{9,7} + x_{10,7} + x_{11,7} = \text{ob}_{3,7}$
объекта №1 в Д6	$x_{3,8} + x_{4,8} + x_{7,8} + x_{9,8} + x_{10,8} + x_{11,8} = \text{ob}_{3,8}$

Рис. 5. Ограничения по наличию и потребности в материалах

Ограничение по потребности автотранспорта подвоза

в Д3 $\eta_{1,1} \cdot x_{1,1} + \eta_{2,1} \cdot x_{2,1} + \eta_{4,1} \cdot x_{4,1} + \eta_{5,1} \cdot x_{5,1} + \eta_{7,1} \cdot x_{7,1} \leq \text{at}_{1,1} \cdot \text{at}_{1,5} / \text{at}_{1,6}$

в Д4 $\eta_{3,2} \cdot x_{3,2} + \eta_{4,2} \cdot x_{4,2} + \eta_{5,2} \cdot x_{5,2} + \eta_{7,2} \cdot x_{7,2} + \eta_{8,2} \cdot x_{8,2} + \eta_{9,2} \cdot x_{9,2} + \dots \leq \text{at}_{1,2} \cdot \text{at}_{1,5} / \text{at}_{1,6}$

в Д4 $\eta_{10,2} \cdot x_{10,2} + \eta_{11,2} \cdot x_{11,2} + \eta_{3,3} \cdot x_{3,3} + \eta_{4,3} \cdot x_{4,3} + \eta_{7,3} \cdot x_{7,3} + \eta_{9,3} \cdot x_{9,3} + \eta_{10,3} \cdot x_{10,3} + \dots \leq \text{at}_{1,3} \cdot \text{at}_{1,5} / \text{at}_{1,6}$

в Д5 $\eta_{3,4} \cdot x_{3,4} + \eta_{4,4} \cdot x_{4,4} + \eta_{7,4} \cdot x_{7,4} + \eta_{8,4} \cdot x_{8,4} + \eta_{9,4} \cdot x_{9,4} + \eta_{10,4} \cdot x_{10,4} + \dots \leq \text{at}_{1,4} \cdot \text{at}_{1,5} / \text{at}_{1,6}$

в Д5 $\eta_{11,4} \cdot x_{11,4} + \eta_{3,5} \cdot x_{3,5} + \eta_{4,5} \cdot x_{4,5} + \eta_{7,5} \cdot x_{7,5} + \eta_{9,5} \cdot x_{9,5} + \eta_{10,5} \cdot x_{10,5} + \dots \leq \text{at}_{1,5} \cdot \text{at}_{1,5} / \text{at}_{1,6}$

в Д6 $\eta_{3,6} \cdot x_{3,6} + \eta_{4,6} \cdot x_{4,6} + \eta_{7,6} \cdot x_{7,6} + \eta_{9,6} \cdot x_{9,6} + \eta_{10,6} \cdot x_{10,6} + \eta_{11,6} \cdot x_{11,6} + \dots \leq \text{at}_{1,6} \cdot \text{at}_{1,5} / \text{at}_{1,6}$

в Д6 $\eta_{3,7} \cdot x_{3,7} + \eta_{4,7} \cdot x_{4,7} + \eta_{7,7} \cdot x_{7,7} + \eta_{9,7} \cdot x_{9,7} + \eta_{10,7} \cdot x_{10,7} + \eta_{11,7} \cdot x_{11,7} + \dots \leq \text{at}_{1,7} \cdot \text{at}_{1,5} / \text{at}_{1,6}$

в Д6 $\eta_{3,8} \cdot x_{3,8} + \eta_{4,8} \cdot x_{4,8} + \eta_{7,8} \cdot x_{7,8} + \eta_{9,8} \cdot x_{9,8} + \eta_{10,8} \cdot x_{10,8} + \eta_{11,8} \cdot x_{11,8} + \dots \leq \text{at}_{1,8} \cdot \text{at}_{1,5} / \text{at}_{1,6}$

Стандартная встроенная функция решения задачи

$X := \text{Minimize}(f, x)$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	3,2	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0,8	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0,4	0	0
10	0	0	2	0	4	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0,5	0,4

Рис. 6. Группа ограничений по потребности в автомобильном транспорте в каждый день работы

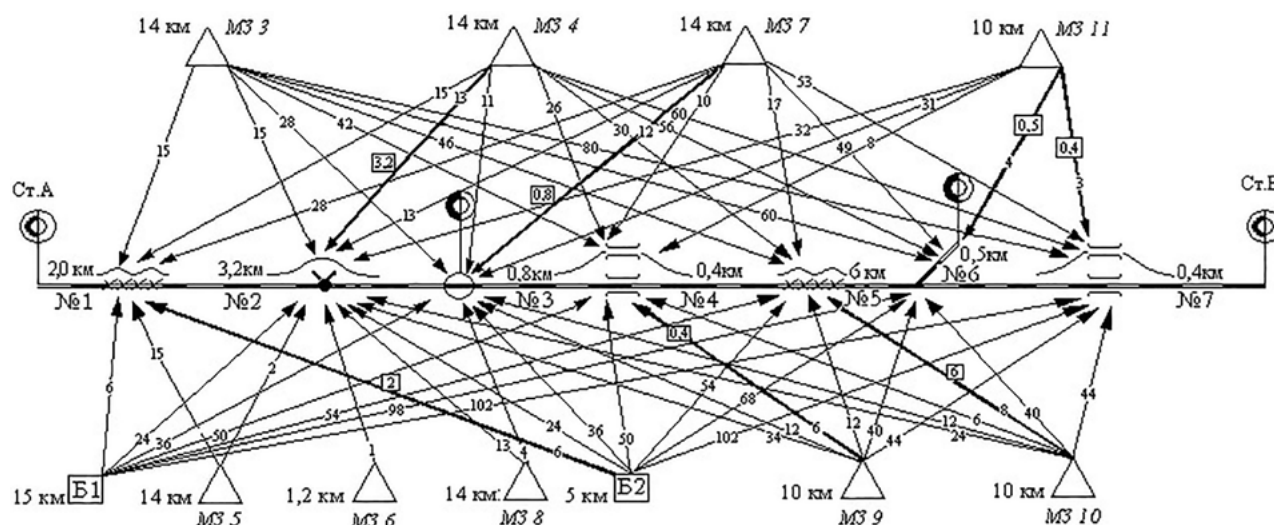


Рис. 7. Прикрепление объектов к базам (местам заготовок)

Результатом реализации программы для ЭВМ [8] является массив X , элемент $x_{i,j} \neq 0$ которого свидетельствует о том, что объекту, порядковый номер которого в табл. 5 равен j , необходимо подать с i -й базы (пункта заготовки) материалы в объеме $x_{i,j}$ км. При этом день, в который должна быть осуществлена подача, определяется по $x_{i,j}$ в табл. 5.

Графическая иллюстрация результатов решения приведена на рис. 7. На этом рисунке прикрепление объектов к базам (пунктам заготовок) выделено жирными линиями.

Заключение

Решения задач линейного программирования приведены в [9, 10], однако методику выбора мест и способов заготовки материалов верхнего строения пути при восстановлении железных дорог силами Железнодорожных войск и структурных подразделений ОАО «РЖД» с применением программы для ЭВМ [8], представленной в этой статье, можно рекомендовать к использованию, например, в районе проведения специальной военной операции с целью принятия оперативных решений в быстро меняющейся тактической обстановке.

Список источников

1. Черных А. К. Моделирование системы технического прикрытия железнодорожной сети в операциях: дисс. ... д-ра техн. наук / А. К. Черных. — СПб.: БАТТ, 2010. — 343 с.
2. Сизов Е. Б. Организация технического прикрытия железных дорог: монография / Е. Б. Сизов. — СПб.: ВТУ ЖДВ, 2008. — 238 с.
3. Низов А. С. Организация материально-технического обеспечения железнодорожных войск: учебное пособие / А. С. Низов, Д. И. Попов, Г. А. Ложечников. — СПб.: ВАМТО, 2013. — 359 с.
4. Черных А. К. Решение задачи выбора мест и способов заготовки материалов верхнего строения пути в среде ППП MathCAD / А. К. Черных, А. А. Коричев // Научно-технический сборник. — СПб.: ВТУ ЖДВ РФ, 2004. — Вып. 8. — С. 248–261.
5. Мирошник А. А. Моделирование материально-технического обеспечения восстановления железных дорог / А. А. Мирошник, А. К. Черных // Сборник статей III Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 2. — Пермь: Изд-во ПВИ войск национальной гвардии, 2017. — С. 58–65.
6. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 1 / Г. Вагнер. — М.: Мир, 1972. — 335 с.
7. Бирман И. Я. Оптимальное программирование / И. Я. Бирман. — М.: Экономика, 1968. — 368 с.

8. Свид. 2018615035 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: публ. 23.04.2018. Заявка № 2018612570 от Патентное ведомство: 12.03.2018. Федеральная служба по интеллектуальной собственности («Роспатент»).

9. Дьяконов В. MathCAD 2000: учебный курс / В. Дьяконов. — СПб.: Питер, 2000. — 425 с.

10. Кудрявцев Е. М. MathCAD 2000 Pro / Е. М. Кудрявцев. — М.: ДМК Пресс, 2001. — 398 с.

Дата поступления: 05.04.2025

Решение о публикации: 29.05.2025

Контактная информация:

МИРОШНИК Александр Анатольевич —
канд. техн. наук, доц.; alexmiroschnik@mail.ru

Methodology for Selecting Locations and Procuring Materials for the Rehabilitation of Railway Track Superstructures by the Railway Troops and Structural Subdivisions of JSC “Russian Railways”

A. A. Miroshnik

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

For citation: Miroshnik A. A. Methodology for Selecting Locations and Procuring Materials for the Rehabilitation of Railway Superstructures by the Railway Troops and Structural Subdivisions of JSC “Russian Railways”. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 2, pp. 476–483. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-476-483

Summary

Purpose: To select the optimal locations and methods for procuring materials for the rehabilitation of railway superstructures by the railway troops and structural divisions of JSC ‘Russian Railways’. **Method:** Linear programming. **Results:** A method for selecting locations and procuring materials for the rehabilitation of railway superstructures has been proposed. **Practical significance:** This methodology can be applied by the railway troops and structural divisions of JSC “Russian Railways” to select locations and procure materials for the rehabilitation of railway superstructures within their areas of territorial responsibility, for example in the area of the special military operation.

Keywords: Materials for the track superstructure, procurement, rehabilitation of railways, mathematical model, logistics system, target function, model constraints.

References

1. Chernykh A. K. *Modelirovanie sistemy tekhnicheskogo prikrytiya zheleznodorozhnoy seti v operatsiyakh: diss. ... d-ra tekhn. nauk* [Modeling the technical cover system of the railway network in operations: diss. ... Doctor of Engineering Sciences]. St. Petersburg: VATT Publ., 2010, 343 p. (In Russian)

2. Sizov E. B. *Organizatsiya tekhnicheskogo prikrytiya zheleznikh dorog: monografiya* [Organization of technical cover of railways: monograph]. St. Petersburg: VTU ZhDV Publ., 2008, 238 p. (In Russian)

3. Nizov A. S., Popov D. I., Lozhechnikov G. A. *Organizatsiya material'no-tekhnicheskogo obespecheniya zheleznodorozhnykh voysk: uchebnoe posobie* [Organization

of material and technical support of railway troops: a tutorial]. VAMTO Publ., 2013, 359 p. (In Russian)

4. Chernykh A. K., Korichev A. A. Reshenie zadachi vybora mest i sposobov zagotovki materialov verkhnego stroeniya puti v srede PPP MathCAD [Solution of the problem of selecting places and methods for procurement of track superstructure materials in the MathCAD environment]. *Nauchno-tekhnicheskiy sbornik* [Scientific and technical collection]. St. Petersburg: VTU ZhDV RF Publ., 2004, Iss. 8, pp. 248–261. (In Russian)

5. Miroshnik A. A., Chernykh A. K. Modelirovanie material'no-tekhnicheskogo obespecheniya vosstanovleniya zheleznikh dorog [Modeling of material and technical support for the restoration of railways]. *Sbornik stat'ey III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 2 ch. Ch. 2* [Collection of articles of the III International scientific and practical conference: in 2 parts. Part 2]. Perm': Izd-vo PVI voysk natsional'noy gvardii, 2017, pp. 58–65. (In Russian)

6. Vagner G. *Osnovy issledovaniya operatsiy* [Fundamentals of Operations Research.] Moscow: Mir Publ., 1972, vol. 1, 35 p. (In Russian)

7. Birman I. Ya. *Optimal'noe programmirovaniye* [Optimal programming]. Moscow: Ekonomika Publ., 1968, 368 p. (In Russian)

8. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM* [Certificate of state registration of a computer program]. Svidetel'stvo RF, no. 2018615035 Rossiyskaya Federatsiya.

9. D'yakonov V. *MathCAD 2000: uchebnyy kurs* [MathCAD 2000: training course]. St. Petersburg: Piter Publ., 2000, 425 p. (In Russian)

10. Kudryavtsev E. M. *MathCAD 2000 Pro*. Moscow: DMK Press Publ., 2001, 398 p. (In Russian)

Received: April 05, 2025

Accepted: May 29, 2025

Author's information:

Alexander A. MIROSHNIK — PhD in Engineering, Associate Professor; alexmiroschnik@mail.ru