

РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ МОДЕЛЕЙ ТРОЛЕЙБУСІВ НА МАРШРУТАХ МІСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

Робота присвячена розробці оптимізаційної моделі ефективного використання наявних у підприємств електротранспорту марок троллейбусів на маршрутній мережі міста за електронними таблицями (на прикладі парку троллейбусів у м. Луцьку).

Завдання підвищення ефективності роботи міського пасажирського транспорту може бути вирішене або за рахунок оновлення транспортних засобів, або за рахунок підвищення ефективності роботи наявного рухомого складу. Але, щоб знизити витрати підприємств на виконання транспортної роботи, необхідно удосконалити підходи до її планування, і, як наслідок цього, забезпечити зниження собівартості перевезень і поліпшення якості обслуговування.

Для забезпечення найбільш ефективного транспортного обслуговування населення із пасажирських перевезень, організації дорожнього руху, необхідно, щоб транспортна система найбільш оптимально відповідала потребам міста. Існує два шляхи підвищення такої ефективності: або збільшення пропускної спроможності міської транспортної мережі, або раціональне використання існуючої мережі та наявного рухомого складу для перевезення пасажирів.

Перше рішення пов'язане із великими матеріальними витратами на реконструкцію транспортних вузлів і магістралей. Другий напрям - раціоналізація використання існуючих транспортних систем і оптимізація процесів перерозподілу навантажень як на транспортну мережу, так і на різні типи транспортних засобів, що здійснюють пасажирські перевезення.

У зв'язку із цим, в даній публікації, виконана спроба обійти протиріччя між теоретичними моделями і реальними можливостями транспортного підприємства щодо ефективного використання наявного парку троллейбусів на маршрутах міста та швидкого динамічного перерахунку оптимальних рішень. Актуальність роботи полягає у розробці простих і ефективних методів оптимізації роботи наявного рухомого складу троллейбусів для перевезення пасажирів на міських маршрутах.

Для створення моделі оптимізації, проаналізовані маршрути міської транспортної мережі Луцька та здійснено аналіз наявного парку транспортних засобів ЛПЕ, його функціональних та технологічних можливостей для забезпечення транспортного попиту населення.

Запропоновано постановку задачі мінімізації цільової функції витрат для оптимального плану розподілу троллейбусів по маршрутах. Побудована модель та розроблені алгоритми її впровадження в електронні таблиці.

Розроблені алгоритми та програмна реалізація внесення обмежень відносного порядку при використанні різних моделей троллейбусів на маршрутах. Це забезпечило у процесі моделювання розрахунок цілої низки можливих планів перевезень. Такі плани у роботі запропоновано називати раціональними планами, тобто локально оптимальними за даних обмежень.

Ключові слова: оптимізаційна модель, транспортна мережа міста, парк електротранспорту, транспортний попит населення, обмеження відносного порядку.

ВСТУП

За роки реформ транспортної системи України, у міських пасажирських перевезеннях сталися значні зміни. І хоча на сьогодні доля міського громадського пасажирського транспорту складає практично 70% усіх пасажирських перевезень, оновлення парку транспортних засобів іде ще надто повільно, особливо це видно по «соціальному» їх виду – яким є троллейбуси. В Україні для міських пасажирських перевезень нині використовуються троллейбуси, більше половини яких суттєво зношені, а практично 40% із них вимагає списання. Тому, проблема перевезення пасажирів у середніх, за кількістю населення, містах істотно загострюється [12].

Завдання підвищення ефективності роботи міського пасажирського транспорту в принципі може бути вирішене як за рахунок оновлення транспорту, так і за рахунок підвищення ефективності роботи наявного рухомого складу. Але, щоб понизити витрати підприємств на виконання транспортної роботи, необхідно удосконалити підходи до її планування, і, як наслідок цього, забезпечити зниження собівартості перевезень і поліпшення якості обслуговування.

Для того, щоб понизити витрати на перевезення пасажирів і добитися мінімізації бюджетних витрат при забезпеченні нормативної якості, необхідно розробити систему дій із поліпшення умов роботи усіх учасників перевізного процесу [1, 9]. У середніх містах, та і не тільки, маршрутні схеми склалися історично, у міру росту міст і вимог населення. Це поступово обумовлює збільшення витрат на перевезення пасажирів, при умові забезпечення перевізниками відповідної доступності

маршрутних схем. Та і самі пасажирів, із-за недосконалості маршрутної мережі, мають збільшений час очікування на зупинках.

Середнє місто України - це місто із числом жителів 150-300 тис., із обмеженим числом видів транспорту, місто, у якому переважна більшість поїздок виконуються без пересадок.

Для забезпечення найбільш ефективного транспортного обслуговування населення із пасажирських перевезень, організації дорожнього руху, необхідно, щоб транспортна система найбільш оптимально відповідала потребам міста. Існує два шляхи збільшення такої ефективності: або збільшення пропускної спроможності міської транспортної мережі, або раціональне використання існуючої мережі та наявного рухомого складу для перевезення пасажирів.

Перше рішення пов'язане із великими матеріальними витратами на реконструкцію транспортних вузлів і магістралей. Другий напрям - раціоналізація використання існуючих транспортних систем і оптимізація процесів перерозподілу навантажень як на транспортну мережу, так і на різні типи транспортних засобів, що здійснюють пасажирські перевезення.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Будь-яка математична модель, у тому числі і функціонування транспортної системи міських пасажирських перевезень, ґрунтується на великому багатоконпонентному об'ємі початкових даних, отримання яких пов'язане, як зі значними труднощами їх фіксації, так і з ситуацією у місті, що швидко змінюється, а від так робить подібні дані неактуальними і застарілими. Саме це і є основною проблемою для створення транспортних моделей великих та середніх міст [11,15].

Фактичну відсутність надійної системи координат, відповідних аналітичних показників для оцінки якості ефективності функціонування існуючих транспортних систем міст можна пояснити, в першу чергу, відсутністю сучасних і простих інструментів оцінки можливостей для оптимізації роботи транспортного підприємства.

На відміну від завдань організації дорожнього руху, де використовуються, в основному, імітаційні моделі руху транспорту, в транспортному плануванні підприємствами використовуються прогнозні моделі. У цих моделях базовими параметрами є: швидкість транспортних потоків, інтенсивність транспортних потоків, інтенсивність пасажиропотоків [13].

Відома значна кількість робіт [2, 3, 6, 8, 15, 16], присвячених оптимізації маршрутів як міських тролейбусів, так і транспорту в цілому. В той же час, як показує досвід, призначення маршрутів не може спиратися тільки на емпіричні розрахунки, доводиться враховувати традиції, звички, екологічні і інші чинники. Тому в реальному житті, впровадження оптимальної маршрутної схеми відбувається досить повільно.

У зв'язку із цим, у даній роботі, виконана спроба обійти протиріччя між теоретичними моделями і реальними можливостями транспортного підприємства щодо ефективного використання наявного парку тролейбусів на маршрутах міста та швидкого динамічного перерахунку оптимальних рішень. Актуальність роботи полягає у розробці простих і ефективних методів оптимізації роботи наявного рухомого складу тролейбусів для перевезення пасажирів на міських маршрутах. Така постановка обумовлена наступними проблемами:

- тролейбусні мережі, що історично склалися, в містах не забезпечують оптимальні витрати для підприємств електротранспорту засобів і часу на перевезення пасажирів;
- неоптимальна транспортна мережа вимагає від пасажирів зайвих витрат часу на поїздки і збільшує число пересадок;
- низький рівень життя населення не дозволяє встановлювати такий тариф, який забезпечує придбання і оновлення рухомого парку транспортними пасажирськими підприємствами;
- муніципальні бюджети не мають можливостей повною мірою компенсувати пасажирським підприємствам витрати за перевезення пасажирів.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є розробка оптимізаційної моделі ефективного використання наявних у підприємств електротранспорту марок тролейбусів на маршрутній мережі міста за електронними таблицями (на прикладі парку тролейбусів у м. Луцьку).

Для досягнення цієї мети нами поставлені наступні завдання:

1. Дослідити та проаналізувати характеристики основних тролейбусних маршрутів, які функціонують у місті Луцьку.
2. Проаналізувати технічні характеристики, наявних у м. Луцьку, моделей тролейбусів, що забезпечують процес перевезення пасажирів.

3. Запропонувати методику формування вихідних даних для створення математичної моделі оптимізації.

4. Розробити та реалізувати постановку задачі мінімізації цільової функції витрат для оптимального плану розподілу тролейбусів на маршрутах, побудувати модель та розробити алгоритми її впровадження за допомогою електронних таблиць.

5. Розробити підходи та програмну реалізацію внесення обмежень відносного порядку для використання різних моделей тролейбусів на маршрутах.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Транспортна прогнозна модель, як правило, є складним програмним комплексом, що складається з інформаційних і розрахункових блоків. Інформаційні блоки реалізують базу даних зберігання і обробки інформації, необхідної для прогнозу транспортних потоків. Розрахункові блоки представляють алгоритми рішення завдань математичного програмування, орієнтованих на прогноз потреби в переміщеннях людських потоків і розрахунок потоків транспортних одиниць, що реалізують її [3].

Очевидно, що збір початкових даних є найбільш трудомістким і тривалим за часом етапом при побудові транспортних моделей [4, 5]. У свою чергу, алгоритмізація побудови транспортних моделей вирішує задачу визначення міри відповідності існуючого транспортного попиту наявній транспортній пропозиції. Таким чином, базову частину моделі, що включає наповнення її початковими даними можна розділити на два етапи:

1 етап. Створення транспортної пропозиції і розрахунок параметрів транспортного попиту.

2 етап. Аналіз наявного парку транспортних засобів, його функціональних та технологічних можливостей для забезпечення транспортного попиту, а на основі цих даних - створення простих і зрозумілих моделей оптимізації плану перевезень.

Розглянемо такий підхід до оптимізації ефективності роботи різних моделей тролейбусів на Луцькому підприємстві електротранспорту.

Розрахунок будь-якого оптимального плану перевезень можливий за умови, якщо вибрано критерій оптимізації. У якості такого критерію можна прийняти один із показників ефективності роботи підприємства.

Для планування і корекції використання різних типів наявних тролейбусів на кожному окремому маршруті, показником ефективності може служити показник сумарних витрат на електроенергію, необхідних для забезпечення процесу перевезення пасажирів. Зрозуміло, що цей показник має бути якомога меншим. У якості критерія ефективності можуть виступати і інші базові показники роботи підприємства.

Розглянемо типову ситуацію, при якій потрібне оптимальне планування і ухвалення ефективного рішення, використовуючи два базових параметра: характеристики основних тролейбусних маршрутів, які функціонують у місті Луцьку і технічні характеристики існуючих моделей тролейбусів, що забезпечують процес перевезення пасажирів.

Крім того, на основі фінансових звітів підприємства Луцького електротранспорту 2020 року та нормативних методик розрахунку витрат електроенергії на перевезення пасажирів, для формування вихідних даних оптимізаційної моделі були використані наступні показники:

- згідно із нормативними документами Міністерства палива та енергетики України ціна за один кіловат електроенергії у 2020 році для підприємств електротранспорту становила біля 4 грн. за квт/год. Звідси ціну B_2 однієї години роботи тролейбуса при умові, що його двигун працює постійно на максимальній потужності будемо визначати із виразу: $B_2 = N \times C$, де N - потужність електродвигуна; C - ціна 1-го квт електроенергії.

- $M_2 = \frac{B_2}{V_e}$, де V_e - експлуатаційна швидкість тролейбуса (20-25км/год); M_2 - ціна одного

кілометра пробігу тролейбуса, за умови, що електродвигун працює на максимальній потужності.

- $B_2^1 = 0.65 \times B_2$, припущення, що тролейбус під час руху (в середньому) використовує свою максимальну потужність на 60 - 70%, де B_2^1 - наближена реальна ціна однієї години роботи тролейбуса.

- $M_2^1 = \frac{0.83 \times B_2^1}{V_e}$, де M_2^1 - наближена реальна ціна одного кілометра пробігу тролейбуса із

врахуванням, що посадка-висадка пасажирів займає у тролейбуса близько 1/6 загального часу його роботи.

Слід зазначити, що ряд показників та характеристик були вибрані нами гіпотетично, враховуючи те, що транспортні перевезення на сьогодні здійснюються в умовах пандемії. На умови перевезення це постійно накладає додаткові обмеження, які змінюються у часі. Наприклад, умова перевозити тільки сидячих пасажирів, пізніше - дозвіл про перевезення стоячих із певною дистанцією. Нами, при аналізі пасажиропотоків, було вибрано, що максимальна місткість пасажирів у тролейбусі наближено коливається в межах: сидячі пасажирів плюс 50% від їх кількості можуть із потрібною дистанцією пересуватися стоячи.

Однак, для перевірки адекватності роботи математичної моделі це не є суттєвим фактором. Нам потрібні визначити тенденції, тренд оптимального використання наявних моделей тролейбусів ЛПЕ на маршрутах м. Луцька.

Відповідно до цього, початкові дані для побудови математичної моделі оптимізації зведені у таблицях 1 і 2.

Таблиця 1

N	Марка тролейбуса	Місткість (сидіння)	Потужність (кВт)	Витрати на електроенергію за год роботи (грн)	Вартість електроенергії на 1 км пробігу (грн)
Тип 1	Mercedes-Benz O405NE	40+20	149	417.2	17.37
Тип 2	Богдан-T501.10	22+12	140	392	16.33
Тип 3	Богдан-E231	41+20	175	490	20.4
Тип 4	Jelcz PR110E	46+24	136	380.8	15.9
Тип 5	Jelcz M121E	31+15	109	305.2	12.7
Тип 6	Jelcz 120MT/MTE	34+16	110	308	13

Із наведених вище даних у таблицях видно, що у загальному випадку задачу оптимізації можна поставити наступним чином: на підприємстві електротранспорту для перевезення пасажирів по « n » маршрутах може бути використано « m » типів тролейбусів. Місткість тролейбуса i -го типу рівна « T_i » людини, кількість пасажирів, що перевозяться по j -му маршруту за добу, складає « V_j » людини. Витрати на електроенергію, пов'язані з використанням тролейбуса i -го типу на j -му маршруті, складають « S_{ij} ». Слід визначити, скільки рейсів x_{ij} необхідно виконати тролейбусами типу « i » на кожному із маршрутів « j », щоб повністю забезпечити потреби у перевезеннях.

Таблиця 2

N п/п	1	2	3	4	5	6	7
N маршруту	1	2	3	4	5	12	15

Назва маршруту	ЛПЗ-КРЗ	ЛПЗ-КРЗ	Гар.-Лісн.	ЖДВ-Вересневе	КРЗ-Цег. завод	КРЗ-в.Володи мирська	ЦУМ-к.Луцьк
Довжина L (км) маршруту	15.35	13.25	14.51	11.95	11.2	12.18	11.05
Середня кількість пасажирів, що перевозяться за добу	3000	3100	730	2900	1700	1500	5200
Витрати на електроенергію на за один рейс на маршруті							
-Тип 1	266.3	203.4	252.0	207.6	194.5	211.6	191.9
-Тип 2	250.7	216.4	236.9	195.1	182.9	198.9	180.4
-Тип 3	313.1	270.3	296.0	243.8	248.5	228.5	225.4
-Тип 4	244.1	210.7	230.7	190.0	178.1	193.7	175.7
-Тип 5	194.9	168.3	184.3	151.8	142.2	154.7	140.3
-Тип 6	199.6	172.3	188.6	155.4	145.6	158.3	143.7

З точки зору керівництва підприємства існує гіпотеза, що найсправедливішим буде план, розроблений за принципом рівного розподілу рейсів на кожному маршруті, при якому $x_{11} = x_{21}, \dots, x_{14} = x_{24}, \dots, x_{17} = x_{27}$. Проте цей план буде заздалегідь надмірно витратним. В оптимізаційній задачі, виходячи із наявної інформації у фінансових звітах, можна наближено визначити витрати підприємства на електроенергію для роботи всіх маршрутів. По первинному плану, він складає - $F_1 = 65\ 000$ грн. З цими витратами ми і будемо порівняти витрати F , розраховані за допомогою побудованої математичної моделі.

Завдання оптимізації роботи 6 марок тролейбусів на 7 маршрутах м. Луцька є завданням лінійного програмування із сорока двома змінними ($x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{67}$), яка має $m = 7$ рівнянь-обмежень, тобто число невідомих більше числа рівнянь обмежень:

$$\begin{cases} T_1 \cdot x_{11} + T_2 \cdot x_{21} + T_3 \cdot x_{31} + T_4 \cdot x_{41} + T_5 \cdot x_{51} + T_6 \cdot x_{61} = V_1 \\ T_1 \cdot x_{12} + T_2 \cdot x_{22} + T_3 \cdot x_{32} + T_4 \cdot x_{42} + T_5 \cdot x_{52} + T_6 \cdot x_{62} = V_2 \\ T_1 \cdot x_{13} + T_2 \cdot x_{23} + T_3 \cdot x_{33} + T_4 \cdot x_{43} + T_5 \cdot x_{53} + T_6 \cdot x_{63} = V_3 \\ T_1 \cdot x_{14} + T_2 \cdot x_{24} + T_3 \cdot x_{34} + T_4 \cdot x_{44} + T_5 \cdot x_{54} + T_6 \cdot x_{64} = V_4 \\ T_1 \cdot x_{15} + T_2 \cdot x_{25} + T_3 \cdot x_{35} + T_4 \cdot x_{45} + T_5 \cdot x_{55} + T_6 \cdot x_{65} = V_5 \\ T_1 \cdot x_{16} + T_2 \cdot x_{26} + T_3 \cdot x_{36} + T_4 \cdot x_{46} + T_5 \cdot x_{56} + T_6 \cdot x_{66} = V_6 \\ T_1 \cdot x_{17} + T_2 \cdot x_{27} + T_3 \cdot x_{37} + T_4 \cdot x_{47} + T_5 \cdot x_{57} + T_6 \cdot x_{67} = V_7 \end{cases}$$

Крім того, невідомі змінні є додатними: $x_{ij} \geq 0$.

Необхідно знайти оптимальне рішення задачі лінійного програмування, що обертає у мінімум лінійну функцію 42 невідомих:

$$F(x) = (S_{11} \cdot x_{11} + S_{21} \cdot x_{21} + S_{31} \cdot x_{31} + S_{41} \cdot x_{41} + S_{51} \cdot x_{51} + S_{61} \cdot x_{61}) + (S_{12} \cdot x_{12} + S_{22} \cdot x_{22} + S_{32} \cdot x_{32} + S_{42} \cdot x_{42} + S_{52} \cdot x_{52} + S_{62} \cdot x_{62}) + \dots \quad (1)$$

$$(S_{17} \cdot x_{17} + S_{27} \cdot x_{27} + S_{37} \cdot x_{37} + S_{47} \cdot x_{47} + S_{57} \cdot x_{57} + S_{67} \cdot x_{67}) \rightarrow \min$$

В ході рішення задачі мінімізації цільової функції (1), отримаємо параметри оптимального

плану розподілу тролейбусів по маршрутах x_{ij} , тобто число рейсів тролейбусів кожної марки, запланованих для кожного маршруту. Це рішення і буде тим єдиним варіантом, який забезпечить найменші витрати F . Проте, цей оптимальний план, розрахований за допомогою методів математичного моделювання, теж може мати свої недоліки [10, 17].

У якості конкретного прикладу для знаходження оптимального варіанту розподілу тролейбусів по маршрутах зробимо розрахунки для шести типів тролейбусів, що розподіляються по семи маршрутах при початкових даних (таблиці 1 і 2):

Для використання початкових даних при розрахунках, їх необхідно ввести в комірки електронної таблиці. На рис. 1 показано варіант розміщення вихідних даних.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data tables:

Table 1: Витрати на електроенергію при роботі і типу тролейбуса на j маршруті

Тип	1	2	3	4	5	12	15
Тип 1	60	266,3	203,4	252	207,6	194,5	211,6
Тип 2	34	250,7	216,4	236,9	195,1	182,9	198,9
Тип 3	61	313,1	270,3	296	243,8	228,5	248,5
Тип 4	70	244,1	210,7	230,7	190	178,1	193,7
Тип 5	46	194,9	168,3	184,3	151,8	142,2	154,7
Тип 6	50	199,6	172,3	188,6	155,4	145,6	158,3
Потреби	3000	3100	730	2900	1700	1500	5200

Table 2: Число рейсів тролейбусів типу i на маршруті j

Всього	1	2	3	4	5	12	15
Всього	1	2	3	4	5	12	15

Рисунок 1

Вихідні дані розміщені в області із комірок A3:I15, числові значення яких занесені у таблицю 3.

Таблиця 3

Позначення	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
Задані значення	60	34	61	70	46	50	3000	3100	730	2900	1700	1500	5200
Адреси комірок	B8	B9	B10	B11	B12	B13	C15	D15	E15	F15	G15	H15	I15

Позначення	S_{21}	S_{22}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}	S_{12}	S_{22}	S_{32}	S_{42}	S_{52}	S_{62}
Задані значення	266.3	250.7	313.1	244.1	194.9	199.6	203.4	216.4	270.3	210.7	168.3	172.3
Адреси комірок	C8	C9	C10	C11	C12	C13	D8	D9	D10	D11	D12	D13

Позначення	S_{13}	S_{23}	S_{33}	S_{43}	S_{53}	S_{63}	S_{14}	S_{24}	S_{34}	S_{44}	S_{54}	S_{64}
Задані значення	252.0	236.9	296.0	230.7	184.3	188.6	207.6	195.1	243.8	190.0	151.8	155.4
Адреси комірок	E8	E9	E10	E11	E12	E13	F8	F9	F10	F11	F12	F13

Позначення	S_{15}	S_{25}	S_{35}	S_{45}	S_{55}	S_{65}	S_{16}	S_{26}	S_{36}	S_{46}	S_{56}	S_{66}
Задані значення	194.5	182.9	228.5	178.1	142.2	145.6	211.6	198.9	248.5	193.7	154.7	158.3
Адреси комірок	G8	G9	G10	G11	G12	G13	H8	H9	H10	H11	H12	H13

Позначення	S_{17}	S_{27}	S_{37}	S_{47}	S_{57}	S_{67}
Задані значення	191.9	180.4	225.4	175.7	140.3	143.7
Адреси комірок	I8	I9	I10	I11	I12	I13

При рішенні таких завдань оптимізації використовується надбудова «Пошук рішення» пакету Excel. При цьому розроблена математична модель, в електронній таблиці, розташовується у двох місцях: в елементах самої електронної таблиці і у спеціальному діалоговому вікні надбудови «Пошук рішення».

20	Початкові значення (до оптимізації)								
21	Результати (після пошуку рішення)								
22									
23	Число рейсів тролейбусів типу / на маршруті j:								
24									
25	Маршрути:								
26	Всього	1	2	3	4	5	12	15	
27									
28	Тип 1	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Тип 2	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Тип 3	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Тип 4	0	0	0	0	0	0	0	0
32	Тип 5	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Тип 6	0	0	0	0	0	0	0	0
34									
35	Цільова функція:								
36									
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38									
39									
40	Інші результати:								
41	Буде перевезено пасажирів:								
42	Тип 1	0	0	0	0	0	0	0	0
43	Тип 2	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Тип 3	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 2

В елементах самої електронної таблиці необхідно відвести спеціальну область змінюваних комірок, для виразів, з яких складається цільова функція та для виразів лівої частини рівнянь-обмежень (рис. 2).

Змінювані комірки, що розташовані в самій електронній таблиці, у вихідному положенні міститимуть початкові значення невідомих $\{x_{ij}\}$, наприклад, нульові. У ході рішення задачі оптимізації вміст цих комірок змінюватиметься, наближаючись при кожному кроці до тих значень, при яких цільова функція матиме мінімальне значення. Перше наближення наведено на рис. 3.

З рисунка видно, що для невідомих $\{x_{ij}\}$ відведені змінювані комірки C28:I33.

Технологія оптимізації полягає у наступному. Вводимо початкові дані (рис. 1). Виконуємо команду <Пошук рішення> у меню <Сервіс>. Відкриється діалогове вікно «Параметри пошуку рішення». Діалогове вікно, призначене для введення другої частини математичної моделі, показано на рис. 3.

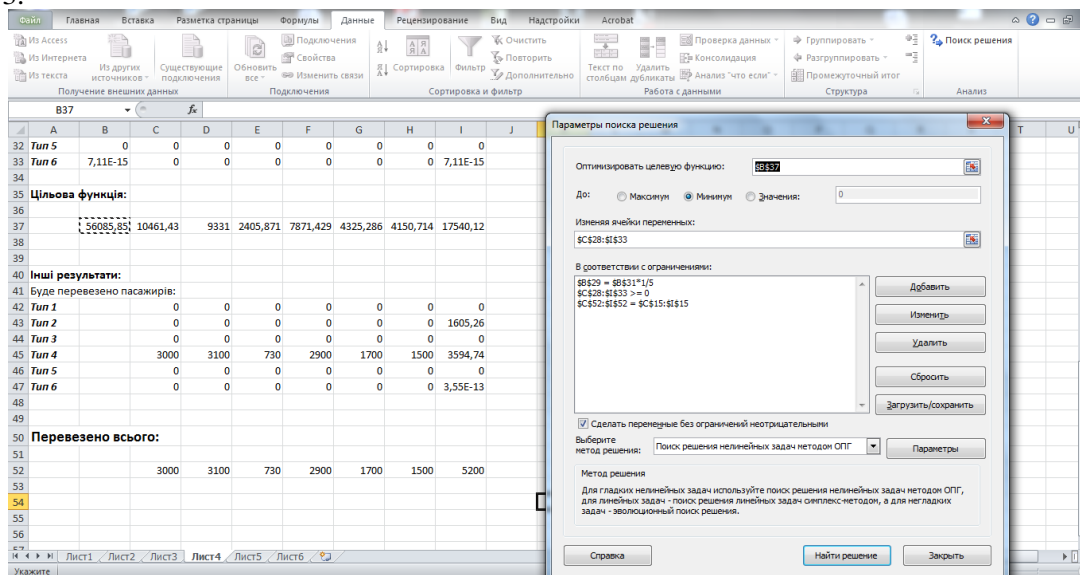


Рисунок 3

В результаті рішення задачі моделювання за допомогою пакету Excel отримано шукане оптимальне рішення. З огляду на те, що число рейсів має бути цілим числом, необхідно округлити змінні x_{ij} , як наслідок, в моделі з'явиться незначна розбіжність у результатах розрахунків.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оптимальний план, який був отриманий в результаті математичного моделювання (рис. 3) за допомогою електронної таблиці, не завжди може бути запроваджений на практиці. Наприклад,

керівництво підприємства може не влаштувати те, що згідно оптимального плану для певного числа моделей тролейбусів не буде плануватися жодного рейсу. При цьому, загальні витрати на електроенергію складатимуть $F = 51597$. І якщо порівнювати оптимальний план із первинним, при якому загальні витрати $F_1 = 65\ 000$ грн., то розрахунки показують, що оптимальний план дешевший на **13403 грн.**, тобто - на 21%.

В практичній роботі рекомендується розраховувати декілька планів із урахуванням особливостей подібного роду. Наприклад, кількість рейсів тролейбусів певного типу можна обмежити деякою величиною. Це цілком зрозуміло, адже не завжди на підприємстві може бути наявною потрібна кількість тролейбусів даної моделі.

Проте більш практичним є внесення обмежень відносного порядку. Для цього використовується певний коефіцієнт « k ». Загальні витрати « F » розраховуються при різних співвідношеннях сумарного числа рейсів тролейбусів всіх шести типів. Якщо додати таке обмеження, то у процесі моделювання можна розрахувати цілий ряд планів перевезень. На відміну від оптимального - такі плани ми будемо називати раціональними планами, тобто локально оптимальними за даних обмежень.

Для прикладу покажемо розрахунок шести різних раціональних планів, де в процесі перевезення на маршрутах міста приймають участь 2, 3, 4, 5, 6 моделей тролейбусів з різними коефіцієнтами завантаженості.

Для унаочнення результатів побудуємо діаграму залежності витрат підприємства на електроенергію від кількості моделей тролейбусів на маршрутах (рис. 4).

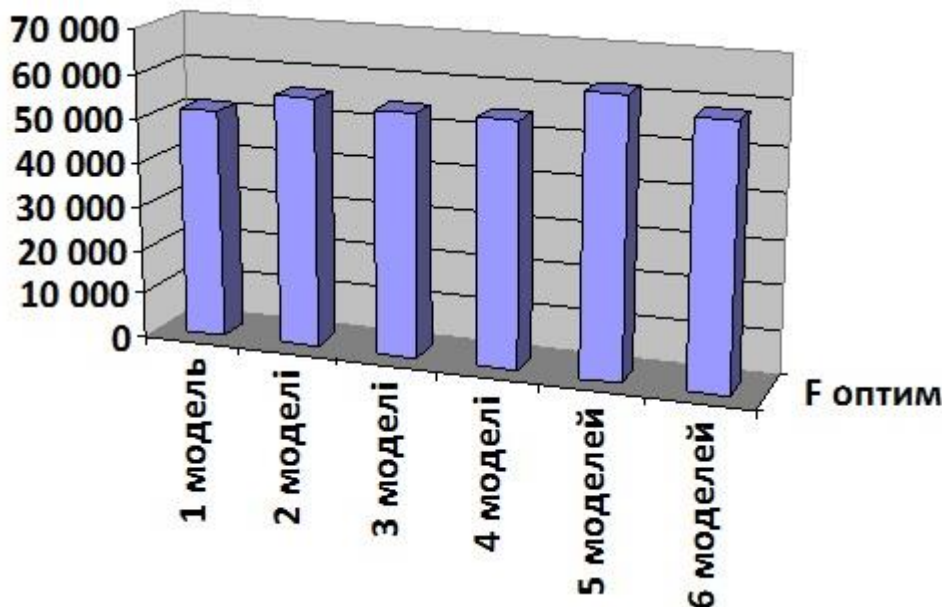


Рисунок 4

Маючи декілька планів, що наочно відрізняються один від одного розрахованими витратами на перевезення, ухвалення рішення для підприємства стає переконливішим. Самим витратним виявився первинний план ($F_1 = 65000$ грн.). Самим економічним - оптимальний ($F = 51597$ грн.). Проте, згідно із оптимальним планом, крім моделі «Jelcz PR110E», всім іншим моделям тролейбусів повинно бути заплановано нуль рейсів. Другий раціональний план ($F = 54653$ грн.) обійдеться на 3056 грн. дорожче за оптимальний, але при цьому - для 1 моделі тролейбуса буде заплановано 58 рейсів на 1 і 15 маршрутах, а для 6 моделі – 87 рейсів на 15, 15а маршруті. Змінюючи обмеження, що впливають на ухвалення рішення, можна ефективно і просто оптимізувати роботу різних наявних моделей тролейбусів на маршрутах м. Луцька.

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено оптимізаційну модель ефективного використання наявних у підприємств електротранспорту марок тролейбусів на маршрутній мережі міста за електронними таблицями (на прикладі парку тролейбусів у м. Луцьку).

Проаналізовані маршрути міської транспортної мережі та здійснено аналіз наявного парку транспортних засобів ЛПЕ, його функціональних та технологічних можливостей для забезпечення

транспортного попиту населення. Це дало можливість створення простої і зрозумілої моделі оптимізації плану перевезень.

Запропоновано постановку задачі мінімізації цільової функції витрат для оптимального плану розподілу тролейбусів по маршрутах, побудована модель та розроблені алгоритми її реалізації через електронні таблиці. Це дозволить підприємству швидко, якісно і просто реагувати на будь-які ситуативні проблеми при ухваленні рішень по перевезенню пасажирів.

Розроблені алгоритми та програмна реалізація внесення обмежень відносного порядку на використання різних моделей тролейбусів на маршрутах. Це забезпечить у процесі моделювання розрахувати цілий ряд планів перевезень. Такі плани у роботі запропоновано називати раціональними планами, тобто локально оптимальними за даних обмежень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Аксенов І.М., Яновський П.О. Організація пасажирських приміських перевезень: Навчальний посібник. – К.: КУЕТТ, 2002. – 67с.
2. Антошвили М. Е., Либман С. Ю., Спирин И. В. Оптимизация городских автобусных перевозок. – М.: Транспорт, 1985. 258с.
3. Артынов А.П., Скалецкий В.В. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами. М.: Транспорт, 1981. -208 с.
4. Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. М.: Наука, 1969. - 118 с.
5. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. -М.: Наука, 1980.-520 с.
6. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте: - М.: Транспорт, 1990. – 208с.
7. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. - М.: Сов. радио, 1972.
8. Геронимус Б.Л., Житков В.А., Розе В.А. Математические методы в принятии решений на транспорте: эволюция методологии. // т. XX вып.2. М.: Экономика и мат. Методы, 1984. - с. 223-231.
9. Котиков Ю.Г. Основы теории транспортных систем. СПб.: СПбГАСУ, 2000.-216 с.
10. Леонтьев В.А. Реализация математических моделей на ЭВМ. Статистические и оптимизационные проблемы. М.: Энергия, 1981. - 176 с.
11. Лившиц Д.М. Оптимизация планирования и управления транспортными системами. М.: Транспорт, 1987. - 224 с.
12. Монографія / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут; За заг. ред. А.М. Редзюка. – К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. – 400с.
13. Овечников Е.В., Фишельсон М.С. Городской транспорт: Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1976 .- 352 с.
14. Петухов О.А. Моделирование: системное, имитационное, аналитическое: учеб. пособие / О.А. Петухов, А.В. Морозов, Е.О. Петухова. – 2-е изд., испр. и доп. – Изд-во СЗТУ, 2008. – 288с.
15. Пустюльга С.І., Придюк В.М., Головачук І.П. Метод фрактальної оцінки показника накладання маршрутних схем для оптимізації міських пасажирських перевезень. / Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті». – Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - Вип. 1(14). - с. 124-135.
16. Пустюльга С.І., Самчук В.П., Придюк В.М., Самостян В.Р. Дискретне (піксельне) представлення транспортної мережі міста для топологічної ідентифікації та фрактального аналізу її геометричних складових. / Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті». – Луцьк, 2021. – Вип. 1 (16). с. 137-149.
17. Пустюльга С.І., Пуць В.С., Клак Ю.В. Багатокритеріальна оптимізація розкрою плит ЛДСП для індивідуального меблевого виробництва / Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті». – Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - Вип. 2(15). - с. 106-117.

REFERENCES

1. Aksenov I.M., Yanovskij P.O. Organizaciya pasazhirskih primis'kih perevezen: Navchalnij posibnik. – К.: KUETT, 2002. – 67s.
2. Antoshvili M. E., Liberman S. YU., Spirin I. V. Optimizaciya gorodskih avtobusnyh perevozok. – М.: Transport, 1985. 258s.
3. Artynov A.P., Skaleckij V.V. Avtomatizaciya processov planirovaniya i upravleniya transportnymi sistemami. М.: Transport, 1981. -208 s.

4. Bellman R., Kalaba R. *Dinamicheskoe programmirovaniye i sovremennaya teoriya upravleniya*. M.: Nauka, 1969. - 118 s.
5. Vasilev F.P. *Chislennyye metody resheniya ekstremalnykh zadach*. -M.: Nauka, 1980.-520 s.
6. Varellopulo G.A. *Organizatsiya dvizheniya i perevozok na gorodskom passazhirskom transporte*: - M.: Transport, 1990. – 208s.
7. Ventcel E.S. *Issledovanie operacij / E.S. Ventcel*. - M.: Sov. radio, 1972.
8. Geronimus B.L., Zhitkov V.A., Roze V.A. *Matematicheskie metody v prinyatii reshenij na transporte: evolyuciya metodologii*. // t. XX vyp.2. M.: Ekonomika i mat. Metody, 1984. - s. 223-231.
9. Kotikov U.G. *Osnovy teorii transportnykh sistem*. SPb.: SPbGASU, 2000.-216 s.
10. Leontev V.A. *Realizatsiya matematicheskikh modelej na EVM. Statisticheskie i optimizacionnyye problemy*. M.: Energiya, 1981. - 176 s.
11. Livshic D.M. *Optimizatsiya planirovaniya i upravleniya transportnymi sistemami*. M.: Transport, 1987. - 224 s.
12. *Monografiya / Derzhavnij avtotransportnij naukovy-doslidnij i proektnij institut; Za zag. red. A.M. Redzyuka*. – K.: DP «DerzhavtotransNDIproekt», 2005. – 400s.
13. Ovechnikov E.V., Fishelson M.S. *Gorodskoj transport: Uchebnik dlya vuzov*. - M.: Vysshaya shkola, 1976 .- 352 s.
14. Petuhov O.A. *Modelirovaniye: sistemnoye, imitacionnoye, analiticheskoye: ucheb. posobie / O.A. Petuhov, A.V. Morozov, E.O. Petuhova*. – 2-e izd., ispr. i dop. – Izd-vo SZTU, 2008. – 288s.
15. Pustylulga S.I., Pridyuk V.M., Golovachuk I.P. *Metod fraktalnoi ocinki pokaznika nakladannya marshrutnih skhem dlya optimizatsii miskih pasazhirskih perevezen.* / *Naukovij zhurnal «Suchasni tekhnologii v mashinobuduvanni ta transporti»*. – Luck: Luckij NTU, 2020.. - Vip. 1(14). - S. 124-135.
16. Pustylulga S.I., Samchuk V.P., Pridyuk V.M., Samostyan V.R. *Diskretne (pikselne) predstavleniya transportnoi merezhi mista dlya topologichnoi identifikatsii ta fraktalnogo analizu geometrichnih skladovih* // *Naukovij zhurnal «Suchasni tekhnologii v mashinobuduvanni ta transporti»*. – Luck, 2021. – Vip. 1 (16). s. 137-149.
17. Pustylulga S.I., Puc V.S., Klak U.V. *Bagatokriterialna optimizatsiya rozkroyu plit LDSP dlya individualnogo meblevogo virobnictva / Naukovij zhurnal «Suchasni tekhnologii v mashinobuduvanni ta transporti»*. – Luck: Luckij NTU, 2020.. - Vip. 2(15). - S. 106-117.

***S. Pustulha, V. Prydiuk, V. Samostian, V. Samchuk* A calculation of optimal plan of the use of different models of trolleybuses is on routes of a municipal transport network.**

Work is sanctified to development of optimization model of the effective use of present at the enterprises of electric transport brands of trolleybuses on the rout network of city after spreadsheets (on the example of park of trolleybuses in Lutsk).

The task of increase to efficiency of work of public passenger transport can be decided or due to updating of transport vehicles, or due to the increase of efficiency of work of present rolling stock. But, to bring down the charges of enterprises on implementation of a transport work, it is necessary to perfect going near her planning, and, as a result of it, to provide the decline of prime price of transportations and improvement of quality of service.

For providing of the most effective transport maintenance of population from passenger transportations, organization of travelling motion, it is necessary, that a transport system answered the necessities of city most optimally. There are two ways of increase of such efficiency: or increase of carrying capacity of a municipal transport network, or rational use of existent network and present rolling stock for carrying passengers.

The first decision entails large material expenses on the reconstruction of transport knots and highways. The second direction is rationalization of the use of existent transport systems and optimization of processes of redistribution of loading both on a transport network and on the different types of transport vehicles that carry out passenger transportations.

In this publication, executed attempt to go round contradiction between theoretical models and real possibilities of a transport enterprise in relation to the effective use of present park of trolleybuses on the routes of city and rapid dynamic count of optimal decisions. Actuality of work consists in development of simple and effective methods of optimization of work of present rolling stock of trolleybuses for carrying passengers on municipal routes.

For creation of model of optimization, analysed routes of a municipal transport network of Lutsk and the analysis of present park of transport vehicles of LPE is carried out, him functional and technological possibilities for providing of a transport demand of population.

Raising of task of minimization of objective function of charges is offered for the optimal plan of distribution of trolleybuses on routes. The built model and worked out algorithms of her introduction are in spreadsheets.

The worked out algorithms and programmatic realization of bringing of limitations of relative order are at the use of different models of trolleybuses on routes. It provided the calculation of a number of possible plans of transportations in the process of design. Such plans it is in-process suggested to name rational plans, id est locally optimal at these limitations.

Keywords: optimization model, transport network of city, park of electric transport, transport demand of population, limitation of relative order.

ПУСТЮЛЬГА Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри архітектури та дизайну Луцького національного технічного університету, e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>.

ПРИДЮК Валентин Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: pred.mbf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7791-1230>

САМОСТЯН Віктор Русланович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету e-mail: cvmbf@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

САМЧУК Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету, e-mail: volsamchuk@ukr.net <http://orcid.org/0000-0001-9045-9525>

.....

Serhii PUSTIULHA, Doctor of Technical Sciences, Professor of Architecture and Design department, Lutsk National Technical University e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>.

Valentyn PRYDIUK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: pred.mbf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7791-1230>

Viktor SAMOSTIAN, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: cvmbf@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

Volodymyr SAMCHUK Ph.D in Engineering, associate professor ,Lutsk National Technical University, e-mail: volsamchuk@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-9045-9525>

DOI 10.36910/automash.v2i17.642