

© В.В Кравець¹, К.А. Зіборов¹, К.М. Бас¹, В.В Кривда¹, С.О. Федоряченко¹
¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

КОМБІНАТОРНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ РОЗПОДІЛУ ПОТОКУ ДЛЯ ГІРНИЧО-КОМУНАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛЕЙ І ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ

© V. Kravets¹, K. Ziborov¹, K. Bass¹, V. Krivda¹, S. Fedoriachenko¹
¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

COMBINATORIAL METHOD FOR DETERMINING THE OPTIMUM FLOW DISTRIBUTION PLAN FOR MINING AND MUNICIPAL AN ELECTRIC VEHICLE AND CHARGING STATIONS

Мета. Зміна оптимального плану розподілу потоку транспортних засобів і прибутку, які пов'язані зі структурними перетвореннями виробничої потужності зарядної станції, у тому числі, трудових ресурсів, витратних матеріалів, обладнання та відповідних коригувань її математичної моделі. Із застосуванням комбінаторного уявлення і використання ланцюгових діаграм розроблено новий метод визначення оптимального плану розподілу потоку транспортних засобів по зарядній станції промислових підприємств, що забезпечує найбільший прибуток підприємства.

Методика дослідження. Математична модель потоку транспортних засобів на зарядній станції складена з урахуванням об'єктивних обмежень, пов'язаних з циклічністю пропускної спроможності станції. Оптимальний план розподілу потоку транспортних засобів на зарядній станції знаходиться, виходячи з геометричних уявлень як найбільша відстань від початку відліку до площини (гіперплощини), що проходить через вершину багатогранника області допустимих рішень і орієнтується по градієнту цільової функції (прибуток підприємства).

Результати дослідження. Використовуючи комбінаторне уявлення і ланцюгові діаграми був розроблений новий метод визначення оптимального плану розподілу потоку транспортних засобів по зарядній станції промислових підприємств, що забезпечує найбільший прибуток підприємства.

Наукова новизна розроблено новий метод визначення оптимального плану розподілу потоку транспортних засобів по зарядній станції промислових підприємств, що забезпечує найбільший прибуток підприємства. Задача набуває актуальності у світлі електрифікації промислового транспорту та вдосконалення акумуляторних батареї до них.

Практичне значення. Даний математичний апарат може бути перенесений в умови гірничого підприємства для застосування електрифікованого промислового транспорту.

Ключові слова: математичний апарат, електрифікований промисловий транспорт, комбінаторне уявлення, зарядна станція

Вступ. Підвищення енергетичної ефективності транспортних засобів проводиться еволюційним переходом від механічних систем, що використовують двигун внутрішнього згорання, до електро-механічних систем, що використовують електричний двигун. Перехідний період прогнозується тривалістю і характеризується наявністю і необхідністю технічного

обслуговування транспортних засобів обох типів, включаючи гібридні. У циклічному процесі обслуговування транспортних засобів трьох типів (традиційних, гібридних, електричних) на зарядній станції виникає ряд нових завдань, що вимагають комплексного вирішення, спираючись на фундаментальні результати.

Акумуляторні електричні транспортні засоби можуть зменшити викиди парникових газів, якщо вони живляться відновлюваною енергією [1]. Перешкодою широкому поширенню на ринку є обмежений пробіг на одному заряді при нині застосовуваних батареях. Хоча можна знайти користувачів, які задовольняють свої потреби тими технологічними розробками, які наразі наявні на ринку [2]. Однак, більш широке впровадження електромобілів потребує поліпшення технології накопичення енергії або значене розширення інфраструктури зарядних станцій. Це також стверджується потенційними покупцями транспортних засобів [3] та політиками [3]. З іншого боку, швидкі зарядні станції передбачають великі інвестиції [4], які вимагають вирішення питань із кількості, місця розташування зарядних станцій та питань енергетичної ефективності транспортування електричної енергії.

Актуальність досліджень. Європейська Комісія в 2013 році запропонувала національні цілі для публічних пунктів заряджання, які сприяли створенню 150 000 зарядних станцій в Німеччині та 14 000 станцій у Швеції [6]. Пізніше запропонований німецький національний план дій запропонував 43 000 станцій (з яких 7000 дозволяють виконувати швидку зарядку).

Потенційні користувачі електричних транспортних засобів часто запитують про публічні тарифи на заряджання перед покупкою транспортних засобів. Крім того, присутні очікування, що швидкість зарядки буде подібна до звичайної заправки. З цієї причини дослідження та політичний інтерес до публічних зарядних станцій все більше і більше фокусуються на швидких варіантах заряджання з більш високими тарифами на електроенергію [8].

Тому, з метою сприяння поширенню електричного транспорту, як промислового (у тому числі для гірничих підприємств [9]), так і громадського, в даній роботі запропоновано новий метод встановлення оптимального місця розташування зарядних станцій на основі плану розподілу потоку транспортних засобів на зарядній станції.

Ймовірнісний підхід і опис транспортного потоку. Розглядається зарядна станція з обслуговування гібридних і електричних транспортних засобів. Традиційний транспортний засіб являє собою механічну систему [10], що включає двигун внутрішнього згорання та інші вузли й агрегати, що вимагають проведення діагностики, відновлення і заправки витратними матеріалами. Електричний транспортний засіб являє собою електромеханічну систему, що включає мотор-колесо, акумулятори, супутнє обладнання, яке потребує проведення діагностики, відновлення й зарядки. Гібридні транспортні засоби, будучи комбінацією перших двох - традиційних і електричних, обслуговуються в повному обсязі і вимагають заправки і зарядки. Процес обслуговування потоку транспортних засобів, що розглядаються, є циклічним і випадковим. Поява

транспортного засобу на зарядній станції даного регіону розглядається як випадкова подія, що має дискретний закон розподілу:

Таблиця 1

Закон розподілу

Ймовірність	Транспортні засоби		
	D	G	E
P	P1	P2	P3

У табл. 1 є відомими P1 - ймовірність появи традиційного транспортного засобу, що має двигун внутрішнього згоряння (випадкова подія D); P2 - ймовірність появи гібридного транспортного засобу (випадкова подія G); P3 - ймовірність появи електротранспорту (випадкова подія E);

Виробнича потужність заправочно-зарядної станції є обмеженою добовим запасом використовуваних видаткових матеріалів, наявним обладнанням і трудовим ресурсом.

Розподіл різних витратних матеріалів, види виконуваних операцій за типами транспортних засобів представлено в наступній матричній формі:

Таблиця 2

Розподіл різних витратних матеріалів

Витратні матеріали	Транспортні засоби			Добовий запас витратних матеріалів
	D	G	E	
1.	a11	a12	a13	b1
2.	a21	a22	a23	b2
3.	a31	a32	a33	b3
·	·	·	·	·
·	·	·	·	·
m	am1	am1	am1	bm

Тут прямокутна матриця – (m × 3) розподілу витратних матеріалів за типами обслуговування на зарядній станції транспортних засобів матиме вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Матриця-стовпець обмежених добових запасів витратних матеріалів на зарядній станції:

$$B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \cdot \\ b_m \end{pmatrix} \quad (2)$$

Таблиця 3

Матриця розподілу трудових ресурсів

Операції (обслуговування)	Транспортні засоби			Добовий запас трудо- вих ресурсів (люд.год)
	<i>D</i>	<i>G</i>	<i>E</i>	
1.	<i>t</i> ₁₁	<i>t</i> ₁₂	<i>t</i> ₁₃	<i>f</i> ₁
2.	<i>t</i> ₂₁	<i>t</i> ₂₂	<i>t</i> ₂₃	<i>f</i> ₂
3.	<i>t</i> ₃₁	<i>t</i> ₃₂	<i>t</i> ₃₃	<i>f</i> ₃
·	·	·	·	·
·	·	·	·	·
<i>n</i>	<i>t</i> _{<i>n</i>1}	<i>t</i> _{<i>n</i>1}	<i>t</i> _{<i>n</i>1}	<i>f</i> _{<i>n</i>}

Тут прямокутна матриця - (*n* × 3) розподілу трудових ресурсів по виконуваних операцій на наявних обладнанні:

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \\ \dots & \dots & \dots \\ t_{n1} & t_{n2} & t_{n3} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Матриця-стовпець обмежених виробничих потужностей заправочно-зарядної станції за виконуваними операціями:

$$F = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \cdot \\ f_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

Вартість обслуговування транспортних засобів на заправно-зарядній станції вважається встановленою і представлена матрицею-рядком:

Таблиця 4

Вартість обслуговування транспортних засобів на зарядній станції

Вартість(у.о.)	Транспортні засоби		
	<i>D</i>	<i>G</i>	<i>E</i>
<i>C</i>	C_1	C_2	C_3

або

$$C' = \|C_1 C_2 C_3\| \quad (5)$$

Вводиться безліч планів обслуговування транспортних засобів на зарядній станції, які відповідають об'єктивним обмеженням:

Таблиця 5

План обслуговування транспортних засобів на зарядній станції

План (кількість одиниць)	Транспортні засоби		
	<i>D</i>	<i>G</i>	
<i>X</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	
	1	2	3

або матриця-стовпець:

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Очевидно, що змінні x_1, x_2, x_3 є цілочисельними за фізичним змістом задачі і задовольняють тривіальним умовам:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0. \quad (7)$$

Очевидно також, що

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq x, \quad (8)$$

де x – добова пропускна здатність транспортних засобів на зарядній станції або добова вибіркова середня кількість обслуговуваних на зарядній станції транспортних засобів.

Цільовою функцією є прибуток зарядної станції транспортних засобів, що визначається в матричній формі:

$$L = C' \times X \quad (9)$$

або в розгорнутому вигляді:

$$L = \|C_1 C_2 C_3\| \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Таким чином, завдання полягає в тому, щоб знайти серед безлічі планів, які відповідають умовам-обмежувачам, оптимальний розподіл потоку транспортних засобів, що забезпечує найбільший прибуток зарядної станції .

Математична модель розподілу та потоку транспорту.

Математичну модель даної задачі складають:

- цільова функція

$$L = C' \times X ; \quad (11)$$

- умови-обмеження, що відображають випадковий характер розподілу потоку транспортних засобів

$$X \leq \bar{x}P, \quad (12)$$

де

$$P = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \quad (13)$$

або в розгорнутому вигляді:

$$x_1 \leq \bar{x}P_1, x_2 \leq \bar{x}P_2, x_3 \leq \bar{x}P_3 ; \quad (14)$$

- потік транспортних засобів обмежується добовою пропускною спроможністю заправочно-зарядної станції:

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq \bar{x}P_1 + \bar{x}P_2 + \bar{x}P_3, \quad (15)$$

або

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq \bar{x}(P_1 + P_2 + P_3), \quad (16)$$

і оскільки $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ отримаємо $x_1 + x_2 + x_3 \leq \bar{x}$;

- умови-обмеження, обумовлені добовим запасом витратних матеріалів на зарядній станції

$$AX \leq B ; \quad (17)$$

- умови-обмеження, обумовлені добовим трудовим ресурсом і наявністю обладнання для проведення робіт на станції технічного обслуговування

$$TX \leq F \quad (18)$$

Таким чином, математична модель даної задачі включає N нерівностей, де

$$N = m + n + 3 + 3 + 1, \quad (19)$$

які визначають область допустимих планів розподілу потоку транспортних засобів на зарядній станції.

Комбінаторний метод математичного моделювання розподілу потоку транспортних засобів. Область допустимих планів розподілу потоку транспортних засобів встановлюється за сукупністю точок в тривимірному просторі, що одержується як перетин трьох граничних площин, взятих з N умов-обмежень у різних комбінаціях-поєднаннях:

$$C_N^3 = \frac{N(N-1)(N-2)}{1 \times 2 \times 3} . \quad (20)$$

Граничні площини складають наступні n -рівнянь

$$TX = A \quad (21)$$

m – рівнянь

$$AX = B, \quad (22)$$

три рівняння

$$X = 0, \quad (23)$$

три рівняння

$$X = x\bar{P}, \quad (24)$$

а також одне рівняння

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq \bar{x}. \quad (25)$$

Сукупність різних систем з трьох лінійних алгебраїчних рівнянь, в кількості визначеному числом сполучень C_N^3 , будується за допомогою ланцюгових діаграм. Методи вирішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь досконально розроблені і включають метод Гаусса, Жордана-Гаусса, матричний метод, формули Крамера, інтеграційні методи та ін.

Знаходяться рішення кожної з C_N^3 постійних систем алгебраїчних рівнянь.

Сукупність цих точок, що задовольняє умовам математичної моделі, визначає вершини багатогранника області допустимих планів розподілу потоку. Серед безлічі допустимих планів розподілу потоку транспортних засобів знаходиться оптимальний план, що забезпечує найбільший прибуток зарядної станції.

Оптимальний план розподілу потоку транспортних засобів на зарядній станції. Використовуючи геометричні уявлення при пошуку оптимального рішення, вводиться градієнт цільової функції

$$\overline{gradL} = c_1\bar{e}_1 + c_2\bar{e}_2 + c_3\bar{e}_3, \quad (26)$$

якому відповідав би одиничний вектор

$$\bar{n}^0 = \frac{\overline{gradL}}{|\overline{gradL}|} \quad (27)$$

або в розгорнутому вигляді

$$\bar{n}^0 = \frac{1}{\sqrt{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2}} (c_1\bar{e}_1 + c_2\bar{e}_2 + c_3\bar{e}_3), \quad (28)$$

де \bar{e}_i ($i = 1, 2, 3$) – орта розглянутого базису. Кожній j -й вершині багатогранника області допустимих планів ставиться у відповідність радіус вектор

$$\bar{r}_j = x_1^j\bar{e}_1 + x_2^j\bar{e}_2 + x_3^j\bar{e}_3. \quad (29)$$

У нормальній векторній формі будується сукупність площин, що проходять через кожен вершину багатогранника і орієнтується по градієнту цільової функції:

$$\bar{n}^0 (\bar{r} - \bar{r}_j) = 0, \quad (30)$$

де \bar{r} – радіус-вектор довільної точки площини. Використовуючи рівняння площини в нормальній векторній формі, безпосередньо знаходиться відстань від початку відліку, де $\bar{r} = 0$, до j -ї площини

$$|d_j| = \left| \bar{n}^0 (\bar{0} - \bar{r}_j) \right| \quad (31)$$

або

$$d_j = \bar{n}^0 \times \bar{r}_j \quad (32)$$

Вибирається вершина багатокутника, що відповідає найбільшій відстані - d_{\max} . Ця вершина визначає оптимальний план розподілу потоку транспортних засобів на зарядній станції тобто

$$\bar{r}_{onm} = x_1^{onm} \bar{e}_1 + x_2^{onm} \bar{e}_2 + x_3^{onm} \bar{e}_3. \quad (33)$$

Дійсно

$$d_{\max} = \frac{1}{\sqrt{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2}} (c_1 \bar{e}_1 + c_2 \bar{e}_2 + c_3 \bar{e}_3) \times x_1^{onm} \bar{e}_1 + x_2^{onm} \bar{e}_2 + x_3^{onm} \bar{e}_3 \quad (34)$$

або

$$d_{\max} = \frac{1}{\sqrt{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2}} (c_1 x_1^{onm} + c_2 x_2^{onm} + c_3 x_3^{onm}), \quad (35)$$

де

$$L_{onm} = c_1 x_1^{onm} + c_2 x_2^{onm} + c_3 x_3^{onm} \quad (36)$$

Таким чином

$$L_{onm} = |\overline{gradL}| d_{\max} \quad (37)$$

Тобто цільова функція - L і відстані - d є еквівалентними величинами, що відрізняються завданням і постійним множником $|\overline{gradL}|$

Розглянемо методичний приклад.

Розглядається гіпотетична зарядна станція з технічного обслуговування традиційних (D), гібридних (G), електричних (E) транспортних засобів. Автомобілі традиційного компонування: схеми, основу яких складають двигуни внутрішнього згорання, вимагають проведення діагностики, відновлення і заправки. Електромобілі, що включають мотор-колесо, акумулятори та інше супутнє обладнання, також вимагають проведення діагностики, відновлення і зарядки. Гібридні автомобілі, будучи комбінацією традиційних і електричних, обслуговуються в повному обсязі і вимагають заправки і зарядки. Процес обслуговування потоку розглянутих транспортних засобів на зарядній станції покладається циклічним періодом рівним добі. Виробнича потужність зарядної станції об'єктивно обмежена добовим запасом витратних матеріалів, наявним обладнання та трудовим ресурсом. Нехай розподіл виробничої потужності гіпотетичної станції технічного обслуговування традиційних, гібридних і електро-транспортних засобів представлено прямокутною матрицею виду:

$$A = \begin{vmatrix} 2 & 4 & 5 \\ 1 & 8 & 6 \\ 7 & 4 & 5 \\ 4 & 6 & 7 \end{vmatrix} \quad (38)$$

Добова продуктивність потужності станції характеризується матрицею-стовпцем:

$$B = \begin{vmatrix} 120 \\ 280 \\ 240 \\ 360 \end{vmatrix} \quad (39)$$

Вартість обслуговування традиційних, гібридних і електро-транспортних засобів на зарядній станції вважається встановленою і представлена матрицею-рядком:

$$C' = \|10 \quad 14 \quad 12\| \quad (40)$$

Математична модель. Вводиться безліч планів обслуговування потоку традиційних, гібридних, електро-транспортних засобів на зарядній станції у вигляді матриці-стовпця:

$$X = \left\| \begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{array} \right\|. \quad (41)$$

Тут змінні x_1, x_2, x_3 є цілочисельними за фізичним змістом задачі і задовольняють тривіальним умовам:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0 \quad (42)$$

Цільовою функцією є прибуток зарядної станції:

$$L = C' \times X \quad (43)$$

або

$$L = \|10 \quad 14 \quad 12\| \left\| \begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{array} \right\|. \quad (44)$$

Обмежена добова виробнича потужність зарядної станції описується умовою:

$$AX \leq B \quad (45)$$

або

$$\left| \begin{array}{ccc|c} 2 & 4 & 5 & \|120\| \\ 1 & 8 & 6 & \|280\| \\ 7 & 4 & 5 & \|240\| \\ 4 & 6 & 7 & \|360\| \end{array} \right\| \leq \left\| \begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{array} \right\|. \quad (46)$$

Таким чином, математична модель даної задачі включає сім нерівностей, що визначають область допустимих планів розподілу потоку транспортних засобів по зарядній станції.

Серед безлічі планів, які відповідають умовам-обмеженням, знаходиться оптимальний розподіл потоку транспортних засобів, що забезпечує найбільший прибуток зарядної станції.

Метод вирішення. Поставлена задача розв'язується відомими методами математичного програмування (симплекс-метод, метод Гоморі). Тут ілюструється новий алгоритм вирішення поставленого завдання (комбінаторний метод), заснований на багаторазовому використанні одного з відомих методів рішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь (метод Гаусса, метод Гаусса-Жордана, матричний метод, формули Крамера, метод ітерацій, метод Зейделя та ін.).

Область допустимих планів розташування потоку транспортних засобів встановлюється за сукупністю точок в тривимірному просторі x_1, x_2, x_3 , одержуваних як перетин трьох граничних площин взятих із семи умов-обмежень

в різних комбінаціях-поєднаннях. Граничні площини складають наступні сім алгебраїчних рівнянь:

I. $2x_1 + 4x_2 + 5x_3 = 120$

II. $1x_1 + 8x_2 + 6x_3 = 280$

III. $7x_1 + 4x_2 + 5x_3 = 360$

IV. $4x_1 + 6x_2 + 7x_3 = 360$

V. $x_1 = 0$

VI. $x_2 = 0$;

VII. $x_3 = 0$

За допомогою ланцюгових діаграм будується вся сукупність (35) різних систем алгебраїчних рівнянь (рис.).

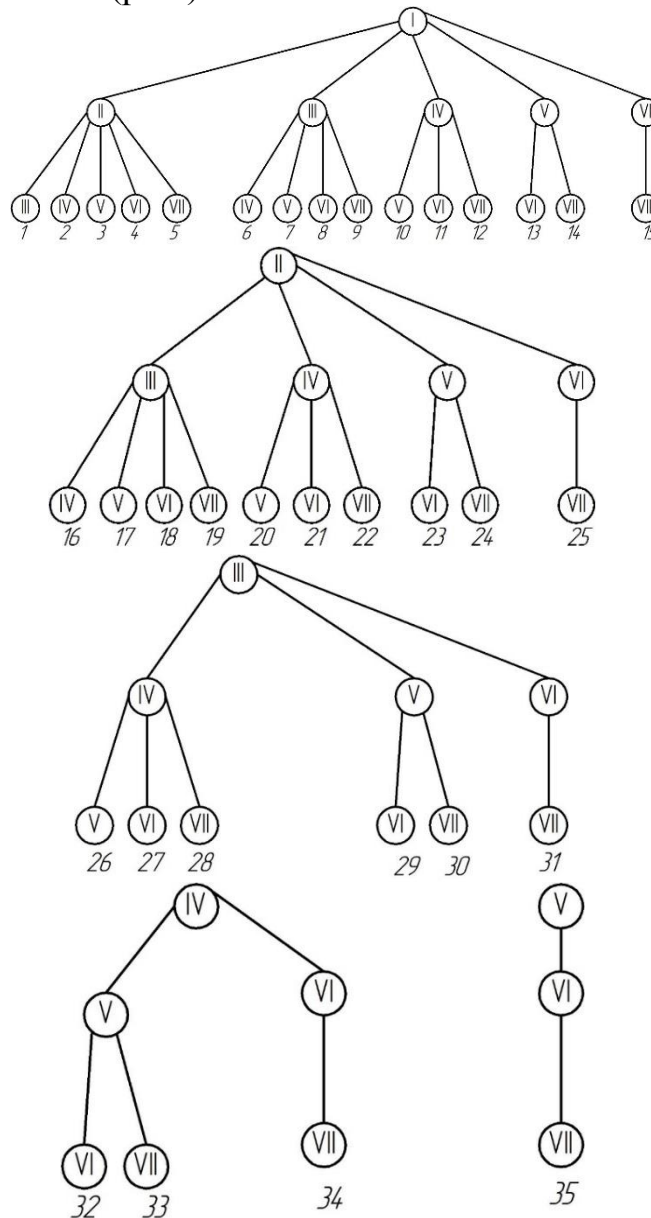


Рис. Ланцюгові діаграми сукупності різних систем алгебраїчних рівнянь

Результати проведених розрахунків за складеними 35-ти варіантів зведені в таблицю:

Таблиця 6

Результати проведених розрахунків

Варіант №	Необхідна умова			Виконання достатніх умов	Величина цільової функції
	X_1	X_2	X_3		
1	24	53	-28	ні	-
2	127	98	-105	ні	-
3	0	42,5	-10	ні	-
4	-97	0	63	ні	-
5	-13,3	36,8	0	ні	-
6	24	408	-312	ні	-
7		ні		-	-
8	24	0	14,4	так	412,8
9	24	18	0	так	492
10	0	480	-360	ні	-
11	160	0	-40	ні	-
12	180	-60	0	ні	-
13	0	0	24	так	288
14	0	30	0	так	420
15	60	0	0	ні	-
16	-5,1	-14,4	66,6	ні	-
17	0	-0,4	50	ні	-
18	1,12	0	48,3	ні	-
19	15,4	33	0	ні	-
20	0	-10	60	ні	-
21	11,8	0	44,6	ні	-
22	46,2	29,2	0	ні	-
23	0	0	46,6	ні	-
24	0	35	0	ні	-
25	280	0	0	ні	-
26	0	60	0	ні	-
27	-4,1	0	53,8	ні	-
28	0	60	0	ні	-
29	0	0	48	ні	-
30	0	60	0	ні	-
31	34,4	0	0	так	343
32	0	0	51,5	ні	-
33	0	60	0	ні	-
34	90	0	0	ні	-
35	0	0	0	так	0

Рішення побудованих систем алгебраїчних рівнянь визначають сукупність 35 точок в тривимірному просторі, кожна з яких складає необхідну умовну приналежність їх до вершин багатогранника допустимих планів. Достатні умови перевіряються на відповідність цих точок нерівностям-обмеженням, що залишилися з вихідної математичної моделі [11]. Сукупність точок, які відповідають необхідним і достатнім умовам, визначає вершини багатогранника області допустимих планів розподілу транспортних засобів. Оптимальний план розподілу, що забезпечує найбільший прибуток зарядної станції, знаходиться в одній з отриманих вершин багатогранника, вибір якої тривіальний.

Таким чином, вершини багатогранника області допустимих планів розподілу потоку транспортних засобів по заправочно-зарядної станції є рішенням систем алгебраїчних рівнянь, що відповідають варіантам №8, №9, №13, №14, №31, №35, де цільова функція – прибуток підприємства, приймає наступні значення:

$$L9 = 492, L13 = 288, L14 = 420, L31 = 342\frac{6}{7}, L35 = 0. \quad (47)$$

Тут найбільший прибуток становить $L9=492$ і відповідає оптимальному плану розподілу потоку транспортних засобів:

$$x_1=24, x_2=18, x_3=0 \quad (48)$$

тобто 24 – традиційних транспортних засобів, що використовують двигун внутрішнього згоряння; 18-гібридних транспортних засобів; 0-електромобілів.

Перелік посилань

1. Nordelöf, A., Messagie, M., Tillman, A.M., Söderman, M.L., & Van Mierlo, J. (2014) Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment. *Int. J. Life Cycle Assessment*, 19 (11) 1866-1890
<https://doi.org/10.1007/s11367-015-1004-6>
2. Jakobsson, N., Gnann, T., Plötz, P., Sprei, F., & Karlsson, S. (2016) Are multi-car households better suited for battery electric vehicles? *Driving patterns and economics in Sweden and Germany, Transport. Res. Part C: Emerging Technol.*, vol. 65, April 2016, 1-15,
<http://doi.org/10.1016/j.trc.2016.01.018>.
3. Dütschke, E., Schneider, U., Sauer, A., Wietschel, M., Hoffmann, J., & Domke, S. (2011) Roadmap zur Kundenakzeptanz - Zentrale Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung in den Modellregionen. Fraunhofer ISI, Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (BMVBS), Berlin, Germany.
4. NPE, 2015. Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015. National Platform for Electromobility (NPE) – Working Group 3 – Charging infrastructure and grid integration. Available online at: [http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_AG3_Statusbericht LIS 2015 barr bf.pdf](http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_AG3_Statusbericht_LIS_2015_barr_bf.pdf), last accessed: 09/15/2016.
5. Schroeder, A. & Traber, T. (2012) The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles *Energy Policy*, 43 , 136-144.
<http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.041>
6. EC (European Commission) (2013): *Proposal for a Directive of the European Parliament and the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure*. EC COM/2013/018 final. Brussels, 24.1.2013.

7. Gnann, T. (2015) *Market Diffusion of Plug-in Electric Vehicles and Their Charging Infrastructure (Ph.D. thesis)* Karlsruhe, Germany: Fraunhofer Publishing, Karlsruhe Institute of Technology (KIT),
8. Till Gnann, Simon Funke, Niklas Jakobsson, Patrick Plötz, Frances Sprei, & Anders Bennehag (2018) *Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 62, 314-329*
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.03.004>.
9. Таран, І.О. (2012) Взаємозв'язок кільцевого коефіцієнта передачі подвійних роздільних передач з характеристикою регулювання при виході планетної передачі. Науковий Вісник Національного гірничого університету. Vol. 3, 75 - 85.
10. Франчук, В.П., Зіборов, К.А., Кривда, В.В., & Федоряченко, С.О., (2018) Вплив теплофізичних процесів на фрикційні властивості пари колесо-рейка в контактній області. 46-52
11. Зіборов, К.А., Проців, В.В., Федоряченко, С.О., & Вернер, І.В. (2016) Про вплив конструктивних параметрів шахтного залізничного транспорту на показники безпеки *Механіка, матеріалознавство та інженерія*, 2 (1), с. 63-70.

АННОТАЦІЯ

Цель. Изменение оптимального плана распределения потока транспортных средств и прибыли, связанные со структурными преобразованиями производственной мощности зарядной станции, в том числе, трудовых ресурсов, расходных материалов, оборудования и соответствующих корректировок её математической модели. С применением комбинаторного представления и использования цепных диаграмм разработан новый метод определения оптимального плана распределения потока транспортных средств по зарядной станции промышленных предприятий, который обеспечивает наибольшую прибыль предприятия.

Методика исследования. Математическая модель потока транспортных средств на зарядной станции составлена с учётом объективных ограничений, связанных с цикличностью пропускной способности станции. Оптимальный план распределения потока транспортных средств на зарядной станции находится, исходя из геометрических представлений как наибольшее расстояние от начала отсчёта плоскости (гиперплоскости), проходящей через вершину многогранника области допустимых решений и ориентируется по градиенту целевой функции (прибыль предприятия).

Результаты исследования. Используя комбинаторное представление и цепные диаграммы был разработан новый метод определения оптимального плана распределения потока транспортных средств по зарядной станции промышленных предприятий, обеспечивает наибольшую прибыль предприятия.

Научная новизна разработан новый метод определения оптимального плана распределения потока транспортных средств по зарядной станции промышленных предприятий, обеспечивает наибольшую прибыль предприятия. Задача приобретает актуальность в свете электрификации промышленного транспорта и совершенствования аккумуляторных батареи к ним.

Практическое значение. Данный математический аппарат может быть перенесён в условия горного предприятия для применения электрифицированного промышленного транспорта.

Ключевые слова: математический аппарат, электрифицированный промышленный транспорт, комбинаторное представление, зарядная станция

ABSTRACT

Purpose. Changes in the optimal plan for the distribution of the flow of vehicles and profits related to the structural transformations of the production capacity of the charging station, including labor resources, consumables, equipment and corresponding adjustments to its mathematical model. Using a combinatorial representation and the use of chain diagrams, a new method has been developed for determining the optimal distribution plan for a stream of vehicles in the charging station of industrial enterprises, which provides the greatest profit for the enterprise.

Research methodology. A mathematical model of the flow of vehicles at the charging station is based on the objective limitations associated with the cyclical capacity of the station. The optimal distribution plan for the flow of vehicles at the charging station is based on geometrical representations as the greatest distance from the origin of the plane (hyperplane) passing through the top of the polyhedron of the region of feasible solutions and is oriented along the gradient of the objective function (enterprise profit).

The results of the study. Using a combinatorial representation and chain diagrams, a new method was developed for determining the optimal distribution plan for the flow of vehicles in the charging station of industrial enterprises, which ensures the greatest profit of the enterprise.

Scientific novelty developed a new method for determining the optimal distribution plan of the flow of vehicles on the charging station of industrial enterprises, provides the greatest profit of the enterprise. The task becomes relevant in the light of the electrification of industrial transport and the improvement of batteries for them.

Practical value. This mathematical apparatus can be transferred to the conditions of a mining enterprise for the application of electrified industrial transport.

Keywords: *mathematical apparatus, electrified industrial transport, combinatorial representation, charging station*