

Фартушний І.Д.
канд. фіз.-мат наук, доцент
ORCID ID: 0000-0003-1595-9495

Москаленко А.Г.
ORCID ID: 0000-0001-8849-1120

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ТРУДОВИХ РЕСУРСІВ НА ІТ-ПІДПРИЄМСТВІ ПРИ НАЯВНОСТІ НАВЧАННЯ

MODEL OF WORKFORCE ASSIGNMENT AT IT-ENTERPRISE IN THE STATE OF TRAINING

ІТ-сфера в Україні активно розвивається. Відкривається багато нових ІТ-компаній, зарубіжні компанії теж заходять на український ринок інформаційних технологій. Основою ІТ-бізнесу є фаховий персонал, тому на ринку праці постійно зростає потреба у кваліфікованих фахівцях саме у сфері інформаційних технологій. ІТ-фахівці отримують високу зарплату за свої знання, а конкуренція на ринку праці є досить високою. Як наслідок, бізнес витрачає значні кошти на пошук та утримання працівників. Тому, з'явився тренд перенавчання своїх працівників за рахунок компанії задля зменшення витрат на пошук нових фахівців. Але виникає необхідність пошуку механізмів, інструментів оптимального розподілу трудових ресурсів компанії для забезпечення його ефективної роботи, професійного розвитку, ефективного використання їхніх професійних та персональних навиків задля досягнення цілей компанії за умови найменших витрат. Дана робота є актуальною, оскільки зараз керівництво ІТ-компаній витрачають великі кошти на відділ кадрів для пошуку нових працівників та навчання своїх працівників. Але саме через це компанії несуть значні втрати. Модель, представлена в даній роботі, дає можливість оптимально розподілити працівників по проектам та навчанню за мінімальним витрат. Модель може бути перевірена та використана на практиці і, як наслідок, допоможе ІТ-компаніям зменшити їх витрати. Метою даної роботи є знаходження оптимального розподілу працівників по проектам та навчанню за умови найменших витрат. В даній статті було проведено моделювання ситуації розподілу працівників в ІТ-компанії задля знаходження оптимального складу проекту та вибору працівників на додаткове навчання за рахунок компанії за умови мінімізації витрат. Дану модель можна вдосконалити, якщо використовувати її не тільки у статичному стані а й в динаміці. Це дасть змогу врахувати усі додаткові фактори, які впливають на розподіл працівників по проектам та курсам. Також, можна розглянути випадок, коли працівник може працювати та навчатися одночасно за умови часткової зайнятості або віддаленої роботи.

Ключові слова: ІТ-компанія, трудові ресурси, оптимальний розподіл ресурсів, оптимізація трудових ресурсів, оптимізація в умовах навчання.

IT business is actively developing in Ukraine. Lots of new IT companies are opening, foreign companies are also entering the Ukrainian information technology market. The basis of the IT business is professional staff, so the need for qualified specialists in the field of information technology is constantly growing in the labor market. IT specialists receive a high salary for their knowledge, and competition in the labor market is quite high. As a result, the business spends

significant funds on the search and maintenance of workers. Therefore, a trend has appeared to retrain their employees at the expense of the company to reduce the cost of finding new specialists. But there is a need to search for mechanisms, tools for the optimal distribution of the company's labor resources to ensure its effective work, professional development, and the effective use of their professional and personal skills to achieve the company's goals at the lowest cost. This work is relevant, because now the management of IT companies spend large amounts of money on the human resources department to find new employees and train their employees. But that is precisely why companies suffer significant losses. The model presented in this paper makes it possible to optimally distribute employees to projects and training at the lowest possible cost. The model can be tested and used in practice and, as a result, will help IT companies reduce their costs. The aim of this work is to find the optimal distribution of workers for projects and training at the lowest cost. In this article, we simulated the situation of the distribution of workers in an IT company to find the optimal project composition and choose employees for additional training at the expense of the company, while minimizing costs. This model can be improved if you use it not only in a static state, but also in dynamics. This will allow you to take into account all the additional factors affecting the distribution of employees by projects and courses. You can also consider the case when an employee can work and study at the same time in part-time employment or remote work.

Keywords: IT company, labor resources, optimal allocation of resources, optimization of labor resources, optimization in the learning environment

Вступ. Задача про призначення є однією з базових задач комбінаторної оптимізації в галузі оптимізації або дослідження операцій в математиці. Перші роботи для рішення даного типу задач з'явилися на початку 20-го століття у роботах таких математиків як А. Тьюкер, Б. Ергеварі та Л.К. Куна. Глибоке дослідження економіко-математичного інструментарію для вирішення даного типу задач почалося в 50-і роки у роботах Р. Буркарда, Р. Беллмана, С. Джонсона, Л.В. Канторовича [1]. Серед українських науковців дослідженнями задач про призначення займаються Леонова М.В., Івченко І.Ю., Будорацька Т.Л. Проблема розподілу працівників стала актуальним для сфери інформаційних технологій, адже витрати на заробітну плату та пошук нових працівників займають значну частку затрат ІТ-компаній. Як наслідок, з'явився тренд навчання своїх працівників за рахунок компанії. Таким чином, компанії економлять на пошуку працівників та отримують кваліфікованих працівників у своїй предметній області. Але виникла проблема правильного розподілу працівників по проектам та курсам за умови найменших витрат. В даній роботі представлено економіко-математичну модель для вирішення проблеми розподілу працівників ІТ-сфери.

Постановка задачі. Метою даної роботи є знаходження оптимального розподілу працівників ІТ-компанії по проектам. Для вирішення даної проблеми були поставлені та вирішені наступні завдання: проаналізувати витрати відділу рекрутингу в ІТ-компаніях та витрати на навчання, їх співставлення для доведення економічності стратегії навчання працівників; дослідити існуючі моделі розподілу трудових ресурсів; побудувати економіко-математичну модель оптимального розподілу працівників за умови їх навчання при найменших витрат; перевірити модель на адекватність та ефективність.

Об'єктом дослідження є процес ефективного управління командою в ІТ-компанії по проектам.

Методологія. Для ринкового дослідження витрат ІТ-компаній на відділ рекрутингу та навчання працівників були використані сайти work.ua, rabota.ua та dou.ua та itea.ua. Для перевірки ефективності моделі було використано дані ІТ-компанії ‘Bintime’, яка надала звіт про витрати на рекрутинг, навчання та приклад проекту для дослідження. Розрахунки моделі проводилися в програмному пакеті Microsoft Excel та Mathcad. Для складання економіко-математичної моделі розподілу працівників ІТ-компанії за умови навчання було взято за основу класичну задачу про розподіл про розподіл працівників, яка є популярною у логістиці[2]. Але, дане завдання не є в класичному сенсі задачею про призначення через присутність обмеження, що забороняє одночасне призначення на роботу і відправлення на навчання одного і того ж претендента [3]. Тому стандартні алгоритми рішення задачі про призначення тут не можуть бути застосовані. В цій ситуації, необхідно скласти алгоритми відповідно до поставленої мети – мінімізації витрат або мінімаксий, який дозволяє мінімізувати максимальну величину витрат, яка втрачається при виборі неправильного рішення.

Результати дослідження. Формальна постановка задачі. Нехай, на n робочих місць претендує m осіб, причому $m > n$, що відповідає наявності конкуренції.

Введемо в розгляд матрицю умінь претендентів

$$S = \{s_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, s_{ij} \in \{0, 1\}\}$$

де

$$s_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i - \text{й претендент вміє робити } j - \text{ту роботу,} \\ 0, & \text{якщо не вміє} \end{cases}$$

Нехай відомі витрати $C1_{ij}$, пов'язані з призначенням i -го претендента на j -те місце. Підприємство має можливість навчати робіт з деякої множини робіт $P \subset \{1, 2, \dots, n\}$. Позначимо через $C2_{ij}$ вартість витрат, пов'язаних з навчанням i -го претендента j -й роботи. Природно припустити, що якщо i -й претендент назначено на j -ту роботу, то він не може бути направлений на додаткове навчання.

Введемо в розгляд матрицю згод на навчання:

$$D = \{d_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, d_{ij} \in \{0, 1\}\}$$

в якій

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i - \text{й претендент згоден йти на курси щоб} \\ & \text{навчитись виконувати } j - \text{ту роботу,} \\ 0, & \text{якщо не згоден} \end{cases}$$

Потрібно розподілити претендентів на робочі місця так, щоб кожен нанятий претендент зайняв одне місце і кожне місце було зайнято одним претендентом.

Крім того, аналогічні вимоги пред'являються до розподілу, пов'язаного з навчанням. Обумовлені цим розподілом витрати на призначення і навчання повинні бути мінімальними.

Для формалізації завдання введемо такі змінні:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i - \text{й працівник призначений на } j - \text{е завдання} \\ 0, \text{ якщо не призначений} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i - \text{й працівник відправлений на курси,} \\ \text{щоб навчитись виконувати } j - \text{у роботу} \\ 0, \text{ якщо не відправлений; } i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n} \end{cases}$$

Математична модель задачі має наступний вигляд:

$$L_1(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^1 x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$L_2(Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^2 y_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m s_{ij} x_{ij} = 1, \text{ для всіх } j, \text{ що } \sum_{i=1}^m s_{ij} \geq 1, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij} \leq 1, i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

роботу робить тільки той, хто уміє:

$$\sum_{i=1}^m d_{ij} y_{ij} = 1, \text{ для всіх } j, \text{ що } \sum_{i=1}^m d_{ij} \geq 1, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \leq 1, i = \overline{1, m}, \quad (6)$$

на курси йде тільки той, хто згоден:

$$x_{lk} \sum_{j \in P} y_{lk} = 0, \text{ для всіх } l = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, n}, \quad (7)$$

неможливо і працювати, і вчитись:

$$\begin{aligned} x_{ij} = \{0,1\}, y_{ij} = \{0,1\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \\ s_{ij} = \{0,1\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \\ d_{ij} = \{0,1\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (8)$$

Зауважимо, що дана задача не є в класичному сенсі завданням про призначення, зокрема, через присутність нелінійного обмеження (7), яке означає, що претенденти, обрані на роботу, не можуть бути спрямовані на навчання. Крім того, розглянута задача є двохкритеріальною. Запропонуємо схему її вирішення, засновану на переході в узагальнену цільову функцію.

Обчислювальна схема алгоритму та застосування моделі на ІТ-підприємстві:

1. Задаються матриці витрат $C1$ і $C2$ аутсорсингового ІТ-підприємства Vintime, а також матриці умінь S і згод працівників на навчання D :

$$C1 = \begin{pmatrix} - & A & B & C \\ 1 & 240 & 133 & 53 \\ 2 & 420 & 233 & 93 \\ 3 & 780 & 433 & 173 \\ 4 & 210 & 116 & 46 \\ 5 & 270 & 150 & 60 \\ 6 & 510 & 283 & 113 \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} - & A & B & C \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 1 & 1 \\ 3 & 0 & 1 & 1 \\ 4 & 0 & 0 & 1 \\ 5 & 0 & 1 & 0 \\ 6 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C2 = \begin{pmatrix} - & A & C & F \\ 1 & 479 & 567 & 227 \\ 2 & 420 & 667 & 267 \\ 3 & 1019 & 867 & 347 \\ 4 & 449 & 551 & 47 \\ 5 & 509 & 150 & 234 \\ 6 & 510 & 283 & 287 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} - & A & C & F \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & 1 & 0 & 1 \\ 6 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

2. Вносяться зміни у матрицю $C1$:

$$C1_{ij} = \begin{cases} c_{ij}^1, & \text{якщо } S_{ij} = 1 \\ N, & \text{якщо } S_{ij} = 0 \end{cases}; \text{ де } i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$$

$$C1 = \begin{pmatrix} - & A & B & C \\ 1 & N & N & 53 \\ 2 & N & 233 & 93 \\ 3 & N & 433 & 173 \\ 4 & N & N & 46 \\ 5 & N & 150 & N \\ 6 & N & 283 & N \end{pmatrix}$$

3. Вирішується задача про призначення для зміненої матриці витрат $C1$ з обмеженнями (3), (4), в результаті чого знаходимо матрицю призначень X . У програмному забезпеченні знаходимо призначення працівників виконувати роботу А, В, С вирішуючи оптимізаційну задачу при цільовій функції мінімізації витрат [4]:

$$X = \begin{pmatrix} - & A & B & C \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 1 \\ 5 & 0 & 1 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Працівника 4 необхідно призначити виконувати роботу B, а працівника виконувати роботу C. Витрати при таких призначеннях складають 197 \$.

4. Вносяться зміни у матрицю C2:

$$C2_{ij} = \begin{cases} c_{ij}^2, & \text{якщо } D_{ij} = 1 \\ N, & \text{якщо } D_{ij} = 0 \end{cases}; \text{ де } i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$$

$$C2 = \begin{pmatrix} - & A & B & C \\ 1 & 479 & N & 227 \\ 2 & N & N & 267 \\ 3 & 1019 & N & 347 \\ 4 & N & N & N \\ 5 & N & N & N \\ 6 & N & N & 287 \end{pmatrix}$$

5. Змінюється розмірність отриманої матриці C2: для кожного елемента $x = 1, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ в матриці витрат C2 викреслюються рядок i і стовпець j

$$C2 = \begin{pmatrix} & A & F \\ 1 & 479 & 227 \\ 2 & N & 267 \\ 3 & 1019 & 347 \\ 6 & N & 287 \end{pmatrix}$$

6. Вирішується задача про призначення для зміненої матриці витрат C2 з обмеженнями (4), (5). В результаті чого знаходимо матрицю призначень Y. У програмному забезпеченні знаходимо призначення працівників виконувати роботу A, B, C вирішуючи оптимізаційну задачу при цільовій функції мінімізації витрат:

$$Y = \begin{pmatrix} & A & F \\ 1 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Відправляємо працівника 1 на курси А, а працівника 2 на курси з F. Витрати при таких призначеннях складають 746 \$.

7. Знаходимо сумарні витрати від призначень X та Y, які складають 947 \$. Отже, за допомогою моделі було призначено працівників на виконання двох завдань проекту за мінімальних витрат. Далі було визначено кого відправляти на навчання за умови виконання робіт і мінімізації витрат. Застосування даної моделі дало змогу оптимально розподілити працівників по роботам і курсам.

Висновки. В даній статті було запропоновано модель для вирішення задачі розподілу працівників компанії ІТ-галузі по проектам за умови їх одночасного навчання. Модель складається з двох блоків обмежень, відповідних завданню про призначення. Крім того, присутній додаткове нелінійне обмеження загального вигляду, що зв'язує ці блоки. Таким чином, запропонована задача описується нелінійною моделлю з булевими змінними. Для вирішення завдання розроблено алгоритм рішення, заснований на переході від двокритеріального завдання до задачі з одним критерієм. Алгоритм застосовується для мінімізації загальних сумарних витрат, базується на використанні угорського методу або симплекс-методу. Дана математична модель може бути застосована на будь-якому підприємстві ІТ-галузі. Модель можна удосконалити, якщо розглянути ситуацію в динаміці. Також, варто дослідити випадок, коли працівник може працювати та навчатися одночасно за умови часткової зайнятості або віддаленої роботи.

Література:

1. IT Ukraine, Ukrainian IT Industry: Analytical Report (UKR) [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://itukraine.org.ua/ukraïnska-it-industriya-druge-misce-v-eksporti-poslug-ta-10-mlrd.-griven-podatki.html> (дата Звернення: 29.03.2020).
2. О.О. Карагодова В.Р. Кігель В.Д. Рожок - Дослідження операцій, 2007, 21 глава, [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: http://p-for.com/book_181_glava_21_%22GLOSSARIJJ%22_OSNOVNY.html
3. Малюгина О. А., Медведєв С. Н., Чернишова Г. Д. Комплектування штатів при наявності навчання // Системне моделювання соціально-економічних процесів, Воронеж: Изд-во Воронеж. держ. ун-ту, 2009. Ч. III. С. 425-427. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://www.mathnet.ru/links/6a9501fd6a0ea715c7ef7822f381bf6d/vspui112.pdf>
4. Чернишова Г. Д., Булгакова І. Н. Дискретна оптимізація: метод. посібник до курсу «Моделі і методи дискретної оптимізації». Изд-во Воронеж. держ. ун-ту, 2007. 42 с.
- 5.