

The module, in which the algorithm for heating the air heater is laid down, implements the algorithm for the minimum consumption of high-calorie additives to achieve the optimal heating time for the air heater.

For this, the calculation of the predicted heating time of the air heater at the current calorific value of the fuel is performed. If the heating time of the heater is less than the set, you can reduce the consumption of high-calorie additives. If the heater at the current caloric value of the fuel heats up late, the consumption of high-calorie additives increases.

The issue of automation of domain coolers is widely covered in modern works, but the latter require either modernization of existing units or sufficiently large computing resources.

This article proposes a fairly simple control system that can be implemented on existing units without significant modernization and does not require a large amount of computation for its work. At the same time, it provides a sufficient effect.

Keywords: *automatic control system, air heater block, blast furnace heater, fuel / air ratio, blast, dome temperature, high-calorie additive.*

Прийнято

Рекомендовано

УДК 004.42

Тузенко О. О., Міроненко Д. С., Базилев Д. І.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ЗАМОВЛЕНЬ ПО МАЙСТРАМ В ЦЕНТРИ З РЕМОНТУ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ

Проведено аналіз предметної області, який показав, що розподіл завдань по майстрам в центрі сервісного обслуговування зводиться до вирішення завдання багатокритеріальної оптимізації. Визначено, що ступень придатності майстра до виконання завдання залежить від: тривалості циклу ремонту обладнання, завантаженості майстра, доходу сервісного центру від виконання замовлення, кваліфікація майстра.

Розроблено математичну модель у вигляді системи нерівностей, яку пропонується вирішити за допомогою системи нечіткого виводу алгоритмом Мамдані. Наведено алгоритм нечіткого виводу. На виході моделі ми отримуємо показник «Ступінь придатності майстра до виконання завдання». Для визначення якого були обчислені кількісні та якісні показники та їх математичне обґрунтування.

Розроблена модель дозволяє враховувати як чіткі чисельні показники так і нечіткі поняття і знання (асоціативні поняття людини - лінгвістичні терміни), оперувати цими знаннями і робити нечіткі висновки. Отримана модель може бути використана в різноманітних програмних системах прийняття рішень при незначному доопрацюванні.

При порівнянні характеристик часу виконання основних робіт можливо побачити, що деякі роботи змінили час суттєво («розподіл замовлень», «формування наряд завдань», «заміна запчастини»), а деякі зовсім не змінилися («замовлення запчастини») це можна пояснити, так що від майстрів не залежить час виконання цієї роботи, вона залежить від відділу постачання. Впровадження моделі дозволить зменшити загальний час виконання ремонтних робіт на 140 хвилин, що дорівнює 2 години 20 хвилин при обробці одного замовлення, загальну завантаженість майстра знизити на 24%. Порівняльна

характеристика часу довела доцільність використання математичної моделі під час розподілу замовлень по майстрам

Ключові слова: алгоритм, математична модель, багатокритеріальна оптимізація, майстер, замовлення, критерій, лінгвістична змінна, правило

Вступ. Сервісний центр або центр з ремонту та обслуговування техніки – це дуже специфічне за своєю структурою підприємство, яке надає населенню певний спектр послуг з ремонту складної побутової техніки, такої як: ноутбуки, комп'ютери, мобільні телефони і смартфони, планшетні комп'ютери, електронні записні книжки, телевізори, монітори, і подібне. Різноманіття техніки, велика кількість клієнтів, потік специфічних індивідуальних замовлень, які потребують певних знань та умінь від майстрів центру, все це вимагає від адміністратора центру, який розподіляє замовлення по майстрам, компетентного та грамотного підходу. Бездумний розподіл замовлень може привести до того, що певний майстер буде перевантажений роботою, а інший навпаки буде байдикувати в робочий час.

Постає питання, чим керуватися при розподілі завдань по майстрам: навантаженням майстрів, їх професійними навичками, прибутковістю замовлення чи інтуїтивним почуттям? Відповідь очевидна: потрібно комплексне чітке рішення на основі математичного обґрунтування. Саме тому впровадження математичної моделі розподілу завдань на ремонти обладнання по майстрам усуне вплив людського фактора, зменшить час на виконання замовлень, організаційні витрати, підвищить рівень обслуговування клієнтів, переведе організацію роботи адміністратора на новий сучасний абсолютно прозорий рівень.

Аналіз предметної області показав, що розподіл завдань по майстрам з урахуванням вищенаведених вимог, зводиться до вирішення завдання багатокритеріальної оптимізації [1]. Багатокритеріальна оптимізація являє собою спробу отримати оптимальне значення для деякої множини характеристик даного об'єкту, тобто знайти певний компроміс між тими приватними критеріями, за якими потрібно оптимізувати рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багатокритеріальні задачі можуть класифікуватись за такими ознаками: за варіантами оптимізації, за числом критеріїв, за типами критеріїв, за співвідношеннями між критеріями, за рівнем структуризації, за наявністю фактора невизначеності [2–8]. Отже, початковими етапами багатокритеріальної оптимізації є визначення системи критеріїв, встановлення співвідношення між ними на суперечливість чи узгодженість дії в одному напрямку, виявлення взаємозв'язку між критеріями, оцінка впливу частинних показників на критерії і на основі цього покращення тих чи інших критеріїв за рахунок зміни значень показників. Вважається, що найбільш важливою із класифікаційних ознак методів багатокритеріальної оптимізації є ознака за функціями особи, яка приймає рішення (ОПР), а саме: методи пошуку оптимального розв'язку без участі ОПР; апостеріорні методи; апріорні методи; інтерактивні методи [9–12].

В першій групі методів вирішальне правило або безпосередній критерій будується без участі ОПР на основі деякої аксіоматики. Тут задача полягає в пошуку деякого компромісного розв'язку зазвичай в «центральної частині» фронту Парето. До цієї групи методів належать методи глобального критерію і метод нейтрального компромісного розв'язку. Відмінністю апостеріорних методів є уточнення розв'язку багатокритеріальних оптимізаційних задач ОПР на основі своїх переваг після того, як отримана деяка множина недомінуючих розв'язків. Ці методи ґрунтуються на апроксимації фронту Парето та передбачають використання еволюційних алгоритмів. Загальним недоліком цих методів є великі обчислювальні затрати.

В методах, що утворюють групу апріорних методів розв'язання багатокритеріальної оптимізації, ОПР вносить коригування до початку реалізації обчислювальної процедури, яка зазвичай спрямована на зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної. Сюди

відносять методи скалярної згортки, метод обмежень, лексикографічне упорядкування та методи цільового програмування.

Методи багатокритеріальної оптимізації за співвідношеннями між критеріями умовно поділяються на три ключові підходи:

- перший пов'язаний з ідеєю ранжирування критеріїв за важливістю і послідовності подальшої оптимізації кожного критерію окремо з призначенням допустимої величини зміни значення критерію, отриманого на попередньому кроці;
- другий підхід полягає у виділенні з усіх критеріїв головного критерію, а потім і оптимізації його та переказ інших в обмеження;
- третій підхід - скаляризації векторного критерію в один узагальнений – інтегральний критерій [2].

Метою даної статті є розробка математичної моделі вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації за допомогою методів нечіткого виводу.

Виклад основного матеріалу. У загальному вигляді завдання багатокритеріальної оптимізації можна описати таким чином: маємо n замовлень ремонтів обладнання, які необхідно виконати L майстрам. При цьому необхідно скласти розклад роботи майстрів, послідовність виконання замовлень, які будуть задовольняти одночасно кількома критеріям оцінки якості розкладу.

Запишемо основні критерії, за якими може бути проведена оцінка ефективності отриманого розкладу.

1. Мінімізація тривалості циклу ремонту обладнання:

$$T_{\text{опт}} = T \rightarrow \min, \quad (1)$$

де T – загальний час необхідний на ремонти обладнання та сервісне обслуговування.

$$T = \sum_{k=1}^n (\sum_{j=1}^n T_j^i + \sum_{j=1}^n \tau_j^i), \quad (2)$$

де T_j^i – тривалість циклу ремонтних робіт з i -м замовленням, τ_j^i – тривалість простою до початку виконання наступного ремонту, яка обумовлена підготовчими заходами; n – кількість замовлень.

2. Максимізація коефіцієнту завантаження майстра:

$$K_{\text{опт.зав.}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^k K_{\text{опт.зав.}}^i \rightarrow \max, \quad (3)$$

де k – кількість майстрів; $K_{\text{опт.зав.}}^i$ – коефіцієнт завантаження i -го майстра.

Коефіцієнт завантаження i -го майстра визначимо відношенням часу необхідного на виконання замовлення до загального часу по формулі:

$$K_{\text{опт.зав.}}^i = \frac{\sum_{j=1}^n T_j^i}{T}. \quad (6)$$

3. Мінімізація часових витрат на підготовку майстра до наступного замовлення:

$$t_n = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_j^i \rightarrow \min, \quad (7)$$

де t_n загальний час витрачений майстром на підготовку до нових замовлень; τ_j^i – тривалість простою до початку виконання наступного ремонту.

4. Максимізація доходу сервісного центру від виконання послуг по ремонту обладнання:

$$\begin{aligned} P &= \sum_{i=1}^n P^i \rightarrow \max, \\ P^i &= \sum_{j=1}^n C^i \cdot T_j^i \cdot K_{\text{СК}}^i, \end{aligned} \quad (8)$$

де P^i – дохід сервісного центру від виконання i -го замовлення; C_i – вартість однієї години роботи майстра в сервісному центрі; $K_{\text{СК}}^i$ – коефіцієнт складності виконання ремонтних робіт для i -го замовлення; T_j^i – тривалість циклу ремонтних робіт з i -м замовленням.

При цьому необхідно враховувати наступні обмеження.

1. Обмеження за термінами виконання ремонтних робіт:

$$T_{\text{ПЛ}} \geq T_{\text{Ф}}, \quad (9)$$

де $T_{\text{Ф}}$ – фактичний термін виконання ремонту обладнання; $T_{\text{ПЛ}}$ – директивний термін виконання ремонтних робіт.

2. Обмеження по фонду часу роботи майстра:

$$\sum_{i=1}^n N_{\text{ПЛ}} \sum_{j=1}^m T_{ij} \leq R_i, \quad (10)$$

де $N_{\text{ПЛ}}$ – план роботи майстра; R_i – ресурс i -го майстра; T_{ij} – тривалість циклу ремонтних робіт з i -м замовленням.

Загальну постановку задачі багатокритеріальної оптимізації представимо наступною системою:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{ОПТ}} \rightarrow \min, \\ K_{\text{ОПТ.зав.}} \rightarrow \max, \\ t_{\text{Н}} \rightarrow \min, \\ P \rightarrow \max, \\ T_{\text{ПЛ}} \geq T_{\text{Ф}}, \\ \sum_{i=1}^n N_{\text{ПЛ}} \sum_{j=1}^m T_{ij} \leq R_i \end{array} \right. \cdot \quad (11)$$

Дана система характеризується набором різнотипних критеріїв та обмежень, тому вирішити систему класичними методами не можливо. Авторами пропонується рішення на основі нечіткого логічного висновку за алгоритмом Мамдані. Алгоритм Мамдані виконується на нечіткій базі знань, в якій значення вхідних і вихідних змінних задані нечіткими лінгвістичними змінними, в базі знань $m=81$ правило, які мають наступний вигляд:

$$\text{RULE}_{\#}: \text{IF } \beta_1 \text{ IS } \alpha_1 \text{ AND } \beta_2 \text{ IS } \alpha_2 \text{ AND } \beta_3 \text{ IS } \alpha_3 \text{ THEN } \varpi = \varpi_1, \quad (12)$$

де β_1 – вхідна змінна «Тривалість циклу ремонту обладнання»; β_2 – вхідна змінна «Завантаженість майстра»; β_3 – вхідна змінна «Доход сервісного центру»; β_4 – вхідна змінна «Кваліфікація майстра»; ϖ – вихідна змінна «Ступінь придатності майстра до виконання замовлення»; n – кількість вхідних змінних, k – кількість правил; m – кількість термів вихідної змінної.

У загальному випадку механізм логічного висновку включає чотири етапи: введення нечіткості (фазифікація), нечіткий висновок, композиція і приведення до чіткості, або дефазифікація.

Алгоритм Мамдані найбільш поширений спосіб логічного висновку в нечітких системах. У ньому використовується мінімаксна композиція нечітких множин. Даний механізм включає в себе наступну послідовність дій.

Процедура фазифікація, представляє собою процедуру знаходження значень функцій приналежності нечітких множин (термів) на основі звичайних (чітко визначених) вихідних даних, які ми отримуємо згідно формул (1)-(10). Визначимо ступеня істинності, тобто значення функцій приналежності для лівих частин кожного правила (передумов). Для бази правил з $m=81$ правилами позначимо ступеня істинності як $A_{ik}(x_k)$, $i = 1..m$, $k = 1..n$.

Нечіткий висновок передбачає: обчислене значення істинності для передумов кожного правила застосовується до висновків кожного правила. Це призводить до однієї нечіткої підмножини, яка буде призначена кожній змінній виводу для кожного правила. Для цього спочатку визначаються рівні «відсікання» для лівої частини кожного з правил:

$$\alpha_i = \min_k(A_{ik}(x_k)). \quad (13)$$

Далі знаходяться «усічені» функції приналежності:

$$B_i^*(y) = \min(\alpha_i, B_i(y)). \quad (14)$$

Композиція, або об'єднання отриманих усічених функцій, всі нечіткі підмножини, призначені до кожної змінної виводу (у всіх правилах), об'єднуються разом, щоб сформувати одну нечітку підмножину для кожної змінної виводу, для чого використовується максимальна композиція нечітких множин:

$$MF(y) = \max_i(B_i^*(y)), \quad (15)$$

де $MF(y)$ - функція приналежності підсумкової нечіткої множини.

Дефазифікація перетворює нечіткий набір висновків в чітке число, виконується центроїдним методом:

$$\omega_0 = \frac{\int_{\Omega} \omega \cdot \mu_S(\omega) d\omega}{\int_{\Omega} \mu_S(\omega) d\omega}. \quad (16)$$

Таким чином, завдяки системі нечіткого виводу для кожного майстра і нового замовлення виконується оцінка «Ступені придатності майстра до виконання цього замовлення», майстер який має максимальне значення цієї величини – отримує це замовлення.

ВИСНОВКИ

В ході дослідження було проведено аналіз предметної області, який показав, що розподіл завдань по майстрам в центрі сервісного обслуговування зводиться до вирішення завдання багатокритеріальної оптимізації.

Для визначення ступеня придатності майстра до виконання завдання визначені наступні критерії та їх математичне обґрунтування: тривалість циклу ремонту обладнання,

завантаженість майстра, дохід сервісного центру, кваліфікація майстра. Розроблена система нерівностей, яку пропонується вирішити за допомогою системи нечіткого виводу алгоритмом Мамдані. Наведено математичну модель системи.

Система нечіткого виводу дозволяє описувати нечіткі поняття і знання, оперувати цими знаннями і робити нечіткі висновки. За допомогою системи можуть оброблятися як змінні з чисельними значеннями так і асоціативні поняття людини - лінгвістичні терміни.

Список використаних джерел:

1. Liu G.P., Yang J.B., Whidborne J.F. Multiobjective optimization and control. Baldock: Research Studies Press Ltd., 2003.
2. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. Учебное пособие. – М.: Физматлит, 2002.
3. Задоров В. Б. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації до планування вантажних перевезень [Текст] / В. Б. Задоров, Е. В. Федусенко, А. О. Федусенко // Управління розвитком складних систем: Зб. наук. праць КНУБА. – Київ: КНУБА, 2010. – Вип. 2. – С. 6-11.
4. Чибісов Ю. В. Математична модель вибору раціональних варіантів пропуску поїздопотоків по залізничній мережі [Текст] / Ю. В. Чибісов, Г. Я. Мозолевич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/11 (57). – С. 37-41.
5. Jahn J. Vector Optimization: Theory, Applications and Extensions. – Berlin: Springer-Verlag, 2004. – 400 p.
6. Matthias Ehrgott. Multicriteria Optimization. – Springer, 2005.
7. M. Ehrgott and X. Gandibleux. Approximative Solution Methods for Multiobjective Combinatorial Optimization (англ.) // TOP : journal. – Sociedad de Estadística e Investigación Operativa, 2004. — Vol. 12, no. 1.
8. Dasgupta D. Optimisation in Time-Varying environments using Structured Genetic Algorithms, Technical Report No IKBS-17-93, Dec. 1993.
9. Beyer, Schwefel, Wegener. How to Analyse Evolutionary Algorithms, Technical Report No.CI-139/02. -- University of Dortmund, Germany, 2002.

Тузенко О. А., Мироненко Д. С., Базылев Д. И.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКАЗОВ ПО МАСТЕРАМ В ЦЕНТРЕ ПО РЕМОНТУ И ОБСЛУЖИВАНИЮ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Проведен анализ предметной области, который показал, что распределение задач по мастерам в центре сервисного обслуживания сводится к решению задачи многокритериальной оптимизации. Определено, что степень пригодности мастера к выполнению задания зависит от: продолжительности цикла ремонта оборудования, загруженности мастера, дохода сервисного центра от выполнения заказа, квалификации мастера.

Разработана математическая модель в виде системы неравенств, которую предлагается решить с помощью системы нечеткого вывода алгоритмом Мамдані. Приведен алгоритм нечеткого вывода. На выходе модели мы получаем показатель «Степень пригодности мастера к выполнению задания». Для определения, которого были вычислены количественные и качественные показатели и их математическое обоснование.

Разработанная модель позволяет учитывать как четкие численные показатели, так и нечеткие понятия и знания (ассоциативные понятия человека - лингвистические термины), оперировать этими знаниями и делать нечеткие выводы. Полученная модель может быть использована в различных программных системах принятия решений при незначительной доработке.

При сравнении характеристик времени выполнения основных работ можно увидеть, что некоторые работы изменили время существенно («распределение заказов», «формирование наряд задач», «замена запчасти»), а некоторые совсем не изменились (например, «заказ запчастей») это можно объяснить, так что от мастера не зависит время выполнения этой работы, она зависит от отдела снабжения. Внедрение модели позволит уменьшить общее время выполнения ремонтных работ на 140 минут, что равняется 2 часам и 20 минут при обработке одного заказа, общая загруженность мастера снизится на 24%. Сравнительная характеристика времени доказала целесообразность использования математической модели при распределении заказов по мастерам.

Ключевые слова: алгоритм, математическая модель, многокритериальная оптимизация, мастер, заказ, критерий, лингвистическая переменная, правило

Tuzenko O. A., Mironenko D. S., Bazilev D. I.

MATHEMATICAL MODEL OF ORDERS DISTRIBUTION AMONG MASTERS IN THE COMPUTER EQUIPMENT SERVICE AND REPAIR CENTER

The subject area analysis is carried out, which showed that the distribution of tasks by masters in the service center is reduced to solving the problem of multicriteria optimization. It is determined that the degree of suitability of the master to the task depends on: the duration of the equipment repair cycle, the workload of the master, the revenue of the service center from the execution of the order, the skill of the master.

A mathematical model is developed in the form of a system of inequalities, which is proposed to be solved by the fuzzy inference system by the Mamdani algorithm. The algorithm of fuzzy inference is given. At the output of the model we get the indicator "Degree of the master's ability to complete the task." To determine which quantitative and qualitative indicators were calculated and their mathematical justification.

The developed model allows to take into account both clear numerical indicators and fuzzy concepts and knowledge (associative concepts of the person - linguistic terms), operate on this knowledge and draw fuzzy conclusions. The resulting model can be used in a variety of software decision-making systems with little refinement.

When comparing the performance of the main works, it is possible to see that some works have changed time substantially ("order allocation", "task order formation", "replacement of a spare part"), and some have not changed at all ("spare part order") this can be explained, so that the masters do not depend on the time of this work, it depends on the supply department. Implementation of the model will reduce the total time of repair works by 140 minutes, which is equal to 2 hours 20 minutes when processing a single order, reduce the total workload of the wizard by 24%. The comparative characteristic of time proved the expediency of using a mathematical model in the distribution of orders by masters.

Keywords: algorithm, mathematical model, multicriteria optimization, master, order, criterion, linguistic variable, rule

Принята

Рекомендована