

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-19>  
УДК 519.853

**ЯХНО ВОЛОДИМИР**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0001-6129-4178>

E-mail: [yaxno.vm@knutd.com.ua](mailto:yaxno.vm@knutd.com.ua)

**ДЕМКІВСЬКИЙ ЄВГЕН**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

<https://orcid.org/0000-0002-9382-7466>

E-mail: [demkivsky@gmail.com](mailto:demkivsky@gmail.com)

**ДЕМКІВСЬКА ТЕТЯНА**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-2176-163X>

E-mail: [demkivskiy@gmail.com](mailto:demkivskiy@gmail.com)

**КАЛАШНИК ВАЛЕРІЙ**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-2345-4377>

E-mail: [kalashnyk.vy@knutd.edu.ua](mailto:kalashnyk.vy@knutd.edu.ua)

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА МЕТОД АНАЛІЗУ ЗАДАЧІ ОПЕРАТИВНО-КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУВАННЯ

*В результаті проведеного дослідження розроблено модель типової задачі оперативного планування розподілу обмежених ресурсів, що необхідні для виконання визначеного переліку завдань. Для розв'язання поставленої задачі проведено аналіз проблем, що виникають під час оперативного – календарного планування, сформульовані формальні моделі для широкого кола проблем, що виникають, і запропонований алгоритм дослідження задачі оперативного-календарного планування.*

*Ключові слова: множини, моделювання, задачі календарного планування, дослідження операцій, комбінаторна оптимізація.*

**YAKHNO VOLODYMYR**

Kyiv National University of Technologies and Design

**DEMIVSKYI IEVGEN**

Taras Shevchenko National University

**DEMIVSKA TETIANA**

**KALASHNYK VALERIY**

Kyiv National University of Technologies and Design

## MATHEMATICAL MODEL AND METHOD OF ANALYSIS OF THE OPERATIONAL-CALENDAR PLANNING PROBLEM

*The main task of this study is to develop a model of a typical task of operational planning of the distribution of limited resources necessary to perform a certain list of tasks.*

*To implement the task, an analysis of problems arising during operational - calendar planning was conducted, formal models were formulated for a wide range of problems that arise, and a research algorithm was proposed.*

*The task is formulated in this case as follows: a plan is a schedule or an indication of what means (using which resources) and at what time the work should be performed. Each work is performed using a given number of resources (the required intensity of resource use is known) or is not performed at all. The proposed model and research method formulate the task as a problem of placement (dense packing) of dimensional parallelepipeds in a limited region of dimensional space. In addition, the paper provides estimates of the complexity of the developed algorithm.*

*The proposed technology allows at each stage to analyze only locally optimal plans, reduce the search and simplify the choice so that individual stages of the decision-making algorithm, while remaining generally exponential, will be performed in an acceptable time for the user (in experiments - instantly) on real data.*

*In addition, the developed planning technology uses visual models that have a graphical interpretation and allow implementing a convenient and flexible planning method. The geometric location algorithm can be applied to a wide range of tasks - equipment location, cargo, material cutting.*

*Keywords: sets, modeling, scheduling problems, operations research, combinatorial optimization*

Стаття надійшла до редакції / Received 02.09.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.10.2025

### Постановка проблеми

Для забезпечення ефективної роботи організацій та навчальних закладів, розробка чітких календарних планів є вкрай важливою. Актуальність цього інструменту зростає в умовах сучасних викликів, що вимагають гнучкості, точності, координації.

Календарний план це розклад або інструкція, якими засобами і в який час повинні виконуватися роботи. Розклад і є календарним планом виконання програми виробництва. У кожен момент часу кожна машина (ресурс) використовується для виконання не більше однієї роботи, кожна робота виконується з використанням

заданої кількості одного або більше ресурсів (необхідна інтенсивність використання ресурсу) або не виконується зовсім.

В загальному випадку задача оперативно-календарного планування (розклад) є найскладнішою задачею оптимізації, вона відноситься до класу задач оптимізації математичного програмування, і мають назву NP-повних. В будь-якому випадку – задачу календарного планування, що породжує виниклу NP-повну задачу необхідно дослідити і знайти задовільний результат. Пропонується представити технологію, яка дозволяє аналізувати локально оптимальні плани, скоротити перебір і спростити його так, що окремі етапи алгоритму прийняття рішень, залишаючись взагалі експоненціальними, будуть виконуватися за прийнятний для користувача (а в експериментах – миттєво), час на реальних даних.

#### Аналіз останніх досліджень

Аналіз останніх досліджень показав, що календарне планування є фундаментальним інструментом ефективності як в освітній, так і в промисловій сферах, забезпечуючи структурований підхід до досягнення цілей і оптимізації ресурсів.

У роботі [1] наведено базовий календарно-тематичний план підвищення кваліфікації педагогів, яке здійснюватиметься за рахунок освітніх субвенцій. План розроблено науково-педагогічними працівниками Харківської академії безперервної освіти на основі відповідної освітньої програми. Крім того, створено навчально-методичне забезпечення для кожної освітньої програми та календарно-тематичного плану. У роботі [2] досліджується властивість задачі календарного планування виконання завдань із загальним жорстким дедлайном на паралельних пристроях з різною продуктивністю, метою якої є максимізація моменту запуску пристроїв за умови своєчасного виконання всіх завдань. В [3] розглянуто сучасні підходи до оперативно-календарного планування виробництвом та їх використання у харчовому виробництві. У статті [4] запропоновано вартісно-орієнтований підхід до оперативно-календарного планування діяльності будівельного підприємства на базі фінансового контролінгу. Цей підхід враховує вплив фінансових обмежень на оцінку ресурсної, економічної та фінансової життєздатності проектів, що дозволяє оперативно коригувати початковий графік робіт і бюджет проекту шляхом вибору у поточному періоді плану з мінімальними витратами та максимальним ресурсним забезпеченням. В роботі [5] розглянуто теоретичні моделі планування, детерміновані моделі, де завдання мають відомі, фіксовані параметри, стохастичні моделі, де параметри завдань є випадковими та невідомим заздалегідь. Книга також представляє різноманітні алгоритми для вирішення задач планування, включаючи точні алгоритми, та евристики, які використовуються для знаходження оптимальних або майже оптимальних рішень. Важливою частиною книги є обговорення реальних проблем планування, що виникають у промисловості та сфері послуг (наприклад, у виробництві, логістиці, охороні здоров'я). Вона також розглядає питання проектування та впровадження систем планування.

#### Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є реалізація рішення розробки моделі та методу дослідження задачі оперативного планування розподілу обмежених ресурсів, які необхідні для виконання визначеного переліку завдань.

#### Виклад основного матеріалу

Задачі календарного оперативно-диспетчерського планування визначають функціонування обладнання і використання в часі ресурсів будь якого виробництва. Задачі оперативно-календарного планування полягають у розподілі обмеженої кількості ресурсів у часі для виконання визначеної кількості неподільних технологічних операцій (робіт). Ці завдання є типовою компонентою задач календарного та оперативно-диспетчерського планування. Для розв'язання завдання необхідно задати часові межі початку та кінця (час закінчення визначається часом початку – час виконання фіксований) кожної роботи. У будь-який момент планового періоду кількість ресурсу будь-якого виду не повинна перевищувати доступну наявність. Завдання (роботи) між собою не пов'язані і можуть виконуватися в будь-якому порядку, навіть одночасно. Існує лише одне обмеження — максимальна кількість ресурсів, яка може бути виділена в кожний момент часу для виконання всіх робіт, що виконуються у цей час. Загальна кількість ресурсів кожного виду, доступних протягом усього планового періоду, залишається незмінною. Оптимальним вважається план-графік, який забезпечує мінімальний час виконання всього завдання або рівномірне використання ресурсів. Якщо означити множину всіх ресурсів, що можуть бути використані для виконання плану  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$  – типи однорідних ресурсів для виконання програми (робітники, верстати, процесори, бригади, ...), тоді час є одним з однорідних ресурсів, що потрібні для виконання робіт і всього ресурсів  $n+1$ . Кількість ресурсу кожного виду обмежена  $M_i$ . Кожна робота – це  $n+1$  паралелепіпед. І задача керування (модель задачі планування) має вигляд завдання розміщення  $K$  паралелепіпедів в визначеній прямокутній області  $n+1$  – вимірного простору. Розміри прямокутної області  $n+1$  – вимірного простору це теж паралелепіпед розміри якого визначаються кількістю наявного кожної миті ресурсу. Кожний паралелепіпед відповідає плановому завданню – роботі. Кожне ребро паралельне осі, що визначає відповідний ресурс. Розміри паралелепіпеду визначають необхідну для виконання роботи кількість ресурсу. Один із розмірів паралелепіпеду визначає кількість часу, що є необхідним для виконання завдання. Для розв'язання задачі пропонується алгоритм геометричного розміщення, що дозволяє знайти найкраще місце для кожного паралелепіпеду.

Оптимальним планом у деяких випадках вважається той, що забезпечує мінімальний час виконання всіх робіт, передбачених планом. Однак можуть застосовуватися й інші критерії, наприклад, рівномірність розподілу навантаження ресурсами або інші параметри. Кількість ресурсів, необхідних для виконання кожної роботи, може змінюватися з часом, але ці зміни можна поділити на періоди, у кожному з яких інтенсивність

використання ресурсу залишається сталою. На рисунку 1 по горизонтальній осі відкладено час, а по вертикальній — інтенсивність використання ресурсу. Виконання роботи поділено на два періоди: у першому (позначеному 0) інтенсивність використання ресурсу вдвічі вища, ніж у другому (позначеному 1).

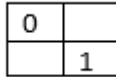


Рис. 1. Графічне зображення роботи

Простір планування для цього двовимірному випадку має форму прямокутника, де вертикальний розмір відображає кількість ресурсів (наприклад, кількість працівників або інші ресурси), а горизонтальний — період планування. У більшості реальних ситуацій кількість ресурсів значно перевищує одиницю, і при наявності  $n$  ресурсів модель роботи представляється сукупністю прямокутних багатогранників у просторі  $E^{n+1}$ . Загалом ця задача належить до багатокритеріальних задач оптимізації, причому критерії оптимальності можуть бути нечітко визначеними або змінюватися в процесі розробки плану.

Математичну модель задачі можна подати наступним чином. Розглянемо  $n$ -вимірний евклідовий просторі  $E^n$  із системою координат, визначеною ортонормованим базисом  $e_1, \dots, e_n$ . Зручно прийняти, що перша координата в цій системі відповідає часу виконання, а всі інші ресурсам, необхідними для виконання робіт. Координатна система з початком в точці  $O$  відповідає початковому моменту планування. У цьому просторі визначено область планування  $L$ ,  $L = \{X \mid x_{kmin,L} \leq x_k \leq x_{kmax,L}, K = 1, \dots, n\}$ ,  $X \in E^n$ , також відомі координати, що задають положення послідовності фіксованих в просторі паралелепіпедів  $\Pi_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ . Паралелепіпеди  $\Pi_i$  описують уже заплановані роботи і визначаються як  $\Pi_i = \{X \mid x_{kmin,i} < X < x_{kmax,i}, K = 1, \dots, n\}$ , при цьому межі всіх багатогранників паралельні координатним площинам.

Існує також інша система координат - рухома система  $O'$ ,  $e_1, \dots, e_n$ , яка використовується для опису чергової роботи. У цій системі задано координати  $x_{kmin,j}$ ,  $x_{kmax,j}$  що визначають положення паралелепіпедів  $R_j$ ,  $j = 1, \dots, h$ . Координати точок, що належать багатограннику  $R_j$  (області розміщення), у нерухомій системі координат є функцією координат центра  $O'$  рухомої системи  $x_{10}, \dots, x_{k0}, \dots, x_{n0}$ .

Для того, щоб розв'язати задачу планування, необхідно визначити координати  $X_0$  точки  $O$  (центру  $O'$  рухомої системи координат, що визначає модель планованої роботи)',  $X_0 \in L$ , так, щоб жоден з фіксованих багатогранників не перетинався ні з одним рухомих

$$\text{intg}(\Pi_i \cap R_j(X^0)) = \emptyset, \forall i, j, \quad (1)$$

де  $\text{intg}$  – сукупність внутрішніх точок певної множини. Розглядається функція  $f(X^0)$ ,  $X_0 \in L$ , яка характеризує якість розміщення і має досягти мінімального значення. Більш спрощено вимогою є умова неперетину множин  $\Pi_i$  та  $R_j(X^0)$ , тобто  $\Pi_i \cap R_j(X^0) = \emptyset$ . Такий підхід замість умови (1) є цілком придатним з практичної точки зору, хоча при цьому множини  $\Pi_i$  та  $R_j(X^0)$  можуть мати спільні граничні точки. У більшості випадків функцію  $f(X^0)$  можна інтерпретувати як момент початку виконання роботи або як відстань між початком рухомої системи координат і деякою фіксованою точкою в просторі  $E^n$ .

Пропонований для використання алгоритм побудований на принципах ідеології "гілок і меж". У відповідності з загальною схемою область  $L$  планів завдання (можливим планом ми називаємо будь-яку точку в якій може бути виконане або здійснено розміщення) представляється у вигляді деякого списку множин – паралелепіпедів. Для кожного елемента списку обчислюється функція – оцінка якості розміщення роботи в цій області. На кожній ітерації алгоритму обчислень множина варіантів – гілок перетвориться за допомогою операцій розгалуження і відсікання неприпустимих елементів.

На першому кроці список гілок, що аналізується складається з одного паралелепіпеда, що визначає початкову область планування. У цьому паралелепіпеді (повна область розміщення) вибирається точка, для якої визначена функція мети приймає мінімальне значення в області. Оцінкою функції якості розміщення в цій області вважається значення функції цілі при розміщенні в найкращій точці будь якого варіанту. Фіксовані в області розміщення роботи і відповідні паралелепіпеди при цьому до уваги не беруться. За цієї умови перший допустимий варіант є найкращим.

Надалі всі обчислення виконуються по індукції.

1) В існуючому (збереженому) списку підмножин планів розміщення вибирається одна підмножина з найкращою оцінкою функції цілі. Перевіряються умови не перетинання (1) (допустимість розміщення для роботи) в точці, яка доставляє цю оцінку. Якщо розміщення є допустиме, то із загальної ідеології "гілок і меж" випливає, що всі інші варіанти гірші – отримано потрібне рішення, в іншому випадку існує певний вже зафіксований у області паралелепіпед (відповідає визначенню роботи), з яким перетинається один з багатогранників завдання, що розміщується. Це пара багатогранників – робіт використовується для розгалуження і відсікання недопустимих варіантів. Ці операції розгалуження – побудови нових елементів гілок і відсікання недопустимих варіантів описані в пункті 2.

Можлива ситуація, після виконання обчислень п.2, коли список варіантів – гілок є порожнім. У цьому випадку допустимого плану виконання робіт не існує!

2) В разі отримання неприпустимого розміщення в точці з найкращим значення функції мети (вже існує зафіксований у області паралелепіпед, з яким перетинається один з багатогранників завдання) для підмножини планів, що перевіряється здійснюється операції розгалуження, а також відсікання неприпустимих варіантів

розміщення. Множина планів розміщення, що перевіряється, замінюється в списку набором своїх підмножин, що не перетинаються. Якщо ці множини визначають багатогранник, що не дозволяє реалізувати розміщення список не поповнюється.

Знову отримані підмножини (багатогранники) планів розміщення задовольняють умовам – не містять варіантів, в яких пара багатогранників пункту 1 перетинається. Для кожного елементу списку (нового елементу множини варіантів) визначається точка з найкращою оцінкою функції мети (це координата нижнього кута якщо мінімізується час) і заноситься в список.

Здійснюється перехід до обчислень, що визначені у пункті 1.

Основою наведеного алгоритму розв'язання задачі є процедура розгалуження і відсікання множини неприпустимих планів, яка формально наведена нижче.

#### **Обчислення процедур розгалуження і відсікання неприпустимих планів.**

У процесі вирішення задачі обрана множина планів (точок області R) розбивається на підмножини – виконується операція розгалуження. Сукупність підмножин множини R, отриману на r-тій ітерації, будемо позначати  $T_r$ .

$$T_r = \{R_1, R_2, \dots, R_s, \dots\}, R_s = \{L \mid L_{min}, s \leq L \leq L_{max}, s\}.$$

В цьому визначенні вектори  $L_{min}, s, L_{max}, s$  з компонентами  $L_{k, min}, s, L_{k, max}, s$  мінімальні і максимальні значення координат області. кожної множини  $R_s, R_s \in T_r$ , Також поставимо у відповідність множині вектор  $L^s$ , для якого функція цілі приймає мінімальне значення в багатограннику  $R_s$ . Таким чином, кожна множина планів (гілка дерева варіантів)  $R_s$  повністю визначається трійкою векторів  $(L^s, L_{min}, s, L_{max}, s)$ . значення функції  $f(L^s), f(L^s) \geq f(L), \forall L, L \in R_s$ , є оцінкою значення функції цілі на множині (багатограннику)  $R_s$ .

Множина  $L_s$  розбивається на підмножини в тому випадку, якщо точка яку обрано для визначення значення оцінки  $X^s$  є неприпустимим планом розміщення. У цьому випадку обов'язково існує хоча б одна пара індексів i, j, для яких

$$int(\Pi_i \cap R_j(X^s)) \neq \emptyset.$$

Пара визначених (за допомогою простих умов перетину паралелепіпедів) багатогранників  $\Pi_i$  і  $R_j(X^s)$  використовується для розбиття множини  $L_s$  на підмножини. Розбиття здійснюється тільки для того, щоб елімінувати з подальшого розгляду всі варіанти розміщення, в яких паралелепіпеди  $\Pi_i$  і  $R_j$  перетинаються. Розбиття здійснюється за допомогою двох векторів  $V_{min}$  і  $V_{max}$ , компоненти яких визначені в такий спосіб:

$$y_{kmin} = \min x_k \mid (\Pi_i \cap R_j(x_{1s}, x_{2s}, \dots, x_k, \dots, x_{ns}) \neq \emptyset,$$

$$y_{kmax} = \max x_k \mid (\Pi_i \cap R_j(x_{1s}, x_{2s}, \dots, x_k, \dots, x_{ns}) \neq \emptyset,$$

або це мінімальні координати, при яких виконується умова не перетину (1). Множина точок  $V, V = \{X \mid V_{min} \leq X \leq V_{max}\}$ , це множина точок, в нерухомій системі координат, при визначенні в яких заданої роботи – паралелепіпеди  $\Pi_i$  і  $R_j(X^s)$  перетинаються. Будь-яка множина точок (багатогранник), для якої k-та координата задовольняє умові  $V_{kmin} \geq x_k$ , містить в собі лише такі плани розміщення, для яких паралелепіпеди  $\Pi_i$  і  $R_j$  не перетинаються. Якщо вимагати, щоб кожна така множина  $M_r$  була прямокутним багатогранником, то всього таких множин буде  $2n$ . Ці множини варіантів визначаються наступною системою умов.

$$M_1 = \{X \mid y_{1max} \leq x_1\},$$

$$M_2 = \{X \mid y_{1min} \geq x_1\},$$

$$M_3 = \{X \mid y_{1max} \geq x_1 \geq y_{1min}, y_{2max} \leq x_2\},$$

$$M_4 = \{X \mid y_{1max} \geq x_1 \geq y_{1min}, y_{2min} \geq x_2\},$$

$$M_5 = \{X \mid y_{1max} \geq x_1 \geq y_{1min}, y_{2max} \geq x_2 \geq y_{2min}, y_{3max} \leq x_3\},$$

$$M_6 = \{X \mid y_{1max} \geq x_1 \geq y_{1min}, y_{2max} \geq x_2 \geq y_{2min}, y_{3min} \geq x_3\}.$$

Тепер, після наведених міркувань операцію, що визначає розгалуження можна визначити наступним чином – це операція заміни множин, в результаті виконання якої обрана множина  $L_s$  в наборі  $Q_r$  (дерева варіантів) замінюється сукупністю множин  $M$ . Кожна множина нової сукупності отримана в після виключення варіантів що містять перетин множини  $L_s$  з одною із множин набору  $L_s \cap M_r$ . Деякі багатогранники, отримані в результаті цієї операції, можуть виявитися порожніми – не містять допустимих варіантів. Тому число  $2n$  – це максимальна оцінка кількості нових елементів гілок, яке може бути отримано в результат розгалуження.

За технологією побудови отримані в результаті розгалуження множини задовольняють наступним необхідним умовам:

- перетин внутрішніх точок попарно різних множин цього нового набору множин є порожнім;
- об'єднання точок цього набору множин відповідає множині  $L_S$  без точок, в яких паралелепіеди  $\Pi_i$

і  $R_j$  перетинаються.

Алгоритм розв'язання задачі планування проілюструємо простішою задачею. Умови і етапи рішення задачі розташування одного прямокутника в області що містить один інший прямокутник відображені на малюнках. В області планування  $L$  знаходиться лише один нерухомий прямокутник  $\Pi_1$ . (Рис. 2,а). Також одним прямокутником  $R$  представлено завдання (Рис. 2,б), яке необхідно виконати за мінімальний час (розмістити на мінімальній відстані від лівого нижнього кута області  $L$ ).

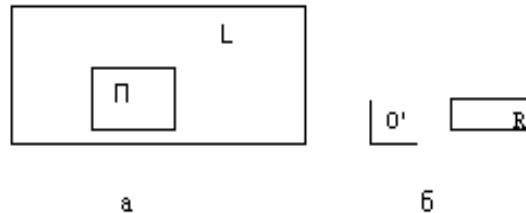


Рис. 2 Визначений план (а) та робота, для якої треба знайти місце

На рис.3, а демонструється ситуація при розміщенні в кращій точці початкової множини  $L^0$ . На рис. 3, б. показані множини  $L^1, L^2$ , що були отримані в результаті розбиття множини  $L^0$  а також результати розміщення в оптимальних точках цих множин. З малюнка можна побачити, що вирішенням цієї проблеми з перетином множин є допустиме розміщення в точці  $X^2$ . Ця точка є кращою точкою (мінімальний час виконання) множини  $L^2$ .

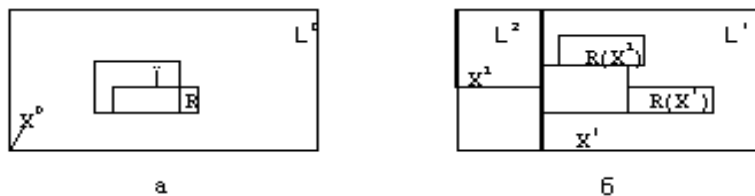


Рис. 3. Розгалуження множини варіантів та елімінація недопустимих планів

Відповідно до наведеної вище обчислювальної схеми алгоритму кількість підмножин множини планів розміщення, якими поповнюється список допустимих варіантів після кожної операції розгалуження, не може бути більше  $2n$ . Враховуючи, що кожна пара багатогранників, що використовується для розгалуження може бути використана один раз кількість ітерацій не може бути більше кількості цих пар.

### Висновки

Розроблено модель типової задачі оперативного планування розподілу обмежених ресурсів, необхідних для виконання певного переліку завдань. Для цього проведено аналіз проблем оперативного календарного планування, сформульовано формальні моделі для широкого кола таких проблем та запропоновано алгоритм дослідження задачі оперативного календарного планування.

Проаналізовано обчислювальну складність і можливі узагальнення алгоритму.

Кількість обчислень, що є необхідною для вирішення будь-якої задачі розробки оперативних планів, за допомогою реалізованої програми, залежить від двох чинників:

- кількості ітерацій – розгалужень, що виконуються під час роботи алгоритму;
- максимальна кількість підмножин множини планів, якими поповнюється дерево варіантів – список варіантів після кожного розгалуження.

Можливості та практична ефективність програмної реалізації алгоритму демонструються на прикладі двовимірних проєкцій задачі розташування паралелепіпедів в визначеній прямокутній області.

### Література

1. Лузан Л. Забезпечення якості освітнього процесу підвищення кваліфікації педагогічних працівників в умовах реформування Нової Української Школи // Adaptive Management: Theory and Practice. Series Pedagogics. – 2023. – Т. 17. – №. 33. DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0255-17\(33\)-09](https://doi.org/10.33296/2707-0255-17(33)-09)
2. Сперкач М.О. Задача визначення максимально пізнього моменту початку виконання завдань із спільним жорстким директивним терміном паралельними пристроями різної продуктивності / М.О. Сперкач // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія «Інформатика, управління та обчислювальна техніка». – К.: “BEK+”, 2015. – №63 – С.1-12, Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkpi\\_iuot\\_2015\\_63\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkpi_iuot_2015_63_4)
3. Міркевич Р. М., Пупена О. М. Оперативно-календарне планування як основа ефективної діяльності сучасних молочних підприємств // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2018. – №. 24, № 4. – С. 29-40. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht\\_2018\\_24\\_4\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2018_24_4_5)

4. Іванов С.В. Вартісно-орієнтований підхід до оперативно-календарного планування діяльності будівельних підприємств за умов фінансових обмежень / С.В. Іванов, О.В. Оскома // Економічний вісник Національного гірничого університету. – 2017. – № 4 (60). – С. 154–160. URL: <http://er.dduvs.edu.ua/handle/123456789/5332>

5. Pinedo, M.L. (2012) *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. Springer, NY, USA. P. 672. URL: <https://www.google.com.ua/books/edition/Scheduling/QRiDnuXSnVwC?hl=ru&gbpv=1&dq=inauthor:%22Michael+L.+Pinedo%22&printsec=frontcover>

### Referenes

1. Luzan L. (2023) Ensuring the quality of the educational process and improving the qualifications of pedagogical workers in the context of the reform of the New Ukrainian School *Adaptive Management: Theory and Practice. Series Pedagogics*. 17 (33). DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0255-17\(33\)-09](https://doi.org/10.33296/2707-0255-17(33)-09). [in Ukrainian].

2. Sperkach M.O (2015) The task of determining the latest possible start time for tasks with a common hard deadline by parallel devices of different performance. *Visnyk NTUU "KPI". Seriya «Informatyka, upravlinnia ta obchysluvalna tekhnika»*. 63, 1- 12. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkpi\\_iuot\\_2015\\_63\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkpi_iuot_2015_63_4) [in Ukrainian].

3. Mirkevych R. M., Pupena O. M. (2018) Operational and calendar planning as the basis for effective operations of modern dairy enterprises. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnologii*. 24 (4). 29-41. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht\\_2018\\_24\\_4\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2018_24_4_5) [in Ukrainian].

4. Ivanov S.V. (2017). Cost-oriented approach to operational and calendar planning of construction companies under financial constraints. *Ekonomichnyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*. 4 (60). 1545-160. URL: <http://er.dduvs.edu.ua/handle/123456789/5332> [in Ukrainian].

5. Pinedo, M.L. (2012) *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. Springer, NY, USA. P. 672. URL: <https://www.google.com.ua/books/edition/Scheduling/QRiDnuXSnVwC?hl=ru&gbpv=1&dq=inauthor:%22Michael+L.+Pinedo%22&printsec=frontcover>