УДК 681 /324
DOI https://doi.org/10.26661/2786-6254-2023-2-09

БАГАТОРІВНЕВИЙ АЛГОРИТМ ПОКРОКОВОГО ПОШУКУ РІШЕННЯ ДЛЯ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ У НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Сімоненко А. В.
старший викладач кафедри обчислювальної техніки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
просп. Берестейський, 37, Київ, Україна
orcid.org/0000-0003-4056-1753
svp@comsys.kpi.ua

Ключові слова: *складання розкладу, NP-складна задача, алгоритм покрокового конструювання, важко вирішувальні задачі.*

У статті запропоновано алгоритм вирішення задачі складання розкладу занять у навчальному закладі. Складання розкладу відноситься до важко вирішуваних завдань (NP-складних). Показано чому обраний метод спрямованого пошуку є перспективний. У статті виконано аналіз відомих підходів до вирішення задачі. Запропонований алгоритм відрізняється від відомих використанням попередньої обробки вихідної інформації, яка дозволяє виділити обов'язкові (безумовні) призначення та заблокувати призначення, які призводять до невиконання обов'язкових вимог, до складання самого розкладу. Тобто пошук рішення виконується в зонах оптимальних, субоптимальних та прийнятних рішень. Крім того, у запропонованому алгоритмі використана ідея фіксації надійного стану системи призначення. Надійний стан запропоновано Дейкстрою в алгоритмі розподілу задач по ресурсам. Запропоновано локальний та глобальний надійні стани. Локальний стан застосовується при складанні розкладу поточної групи, а глобальний стан застосовується для підвищення вірогідності успішного складання розкладу наступних груп. Такий підхід дозволяє при обмежених ресурсах навчального закладу скласти розклад більшості навчальних груп. Поєднання принципу оптимальності Белмана з min-max вибором дозволяє на кожному кроці рішення задачі виділяти критичну дисципліну і для неї визначити найкраще місце призначення в часі та просторі. При обчисленні коефіцієнту претендування враховується ваговий коефіцієнт кожної вимоги. Це дозволяє налаштувати алгоритм складання розкладу на особливості того навчального закладу, для якого він складається. Це відповідає закону Парето. Крім того, запропонований алгоритм дозволяє за кінцеву кількість кроків, рівну числу занять, запропонувати субоптимальний або прийнятний варіант розкладу. При цьому враховуються організаційні, методичні та психофізіологічні вимоги до розкладу.

A MULTI-LEVEL ALGORITHM FOR STEP-BY-STEP SEARCH FOR A SOLUTION FOR DRAWING UP A SCHEDULE OF CLASSES IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Simonenko A. V.
Senior Lecturer at the Department of Computer Engineering
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Beresteyskyi Ave., 37, Kyiv, Ukraine
orcid.org/0000-0003-4056-1753
svp@comsys.kpi.ua

Key words: *Scheduling, NP-complex problem, step-by-step construction algorithm. hard-to-solve tasks.*

The article proposes an algorithm for solving the task of drawing up a schedule of classes in an educational institution. Scheduling is a hard-to-solve task (NP-hard). It is shown why the chosen method of directed search is promising. The article analyzes known approaches to solving the problem. The proposed algorithm differs from the known ones in the use of pre-processing of the initial information, which allows to select mandatory (unconditional) assignments and block assignments that lead to non-fulfillment of the mandatory requirements, before drawing up the schedule itself. That is, the search for a solution is performed in the zones of optimal, suboptimal and acceptable solutions. In addition, the proposed algorithm uses the idea of fixing the reliable state of the system of assignments. The reliable state was proposed by Dijkstra in the algorithm for distributing tasks among resources. Local and global reliable states are proposed. Local state is used when scheduling the current group, and global state is used to increase the probability of successful scheduling of subsequent groups. This approach makes it possible to make the schedule of most educational groups with limited resources of the educational institution. The combination of Bellman's optimality principle with the min-max choice allows at each step of the problem solution to select a critical discipline and determine the best assignment for it in time and space. When calculating the claim factor, the weight factor of each claim is taken into account. This allows to adjust the algorithm for making the schedule to the specifics of the educational institution for which it is made. This corresponds to the Pareto's law. In addition, the proposed algorithm allows for a finite number of steps, equal to the number of classes, to propose a suboptimal or acceptable version of the schedule. At the same time, organizational, methodological and psychophysiological requirements for the schedule are taken into account.

Вступ

Одним із основних документів, що визначають функціонування будь-якого навчального закладу, є розклад занять. Якість складеного розкладу впливає якість підготовки фахівців і ефективність використання матеріальних ресурсів навчального закладу. Процес складання розкладу занять характеризується безліччю вимог, складністю формалізації методів прийняття рішення та кількісною оцінкою якості отриманого варіанта розкладу. Проблеми впровадження автоматизованої системи складання розкладу пов'язані з наявністю інформаційних зв'язків з іншими підсистемами автоматизованого управління навчальним закладом: контингент учнів, кадровий складом викладачів, аудиторним та лабораторним фондом, оперативним управлінням, матеріально-технічним постачанням. [2]. Задача складання розкладу є окремим випадком задачі призначення. Тоді для системи з N ресурсів (часовий інтервал розкладу) є M робіт (заняття для розподілу). Всі можливі призначення зведені Булеву матрицю MC[i,j], i=1...N, j=1...M (M≤N). Необхідно визначити відношення робота ресурс: A={(Ii,Jj)}, Ii∈I={1,2..N}, Jj∈J={1,2..N} так, щоб ∀Ii∉I\Ii, Jj∉J\Jj і ∀(Ii,Jj)∉A, MC[i, j]=1. Це означає, що: кожен ресурс може обслуговувати тільки одну заявку, процес обслуговування не може бути перерваний, кожна робота маючи індивідуальні характеристики може претендувати на захоплення тільки деяких системних ресурсів, немає черг до ресурсів, одна робота може бути обслугована тільки одним ресурсом. «1» в матриці зв'язності MC відповідає парі Робота (i) і Ресурс (j) і відповідає виконанню всіх обов'яз-

кових вимог, що пред'являються до призначення відповідної заявки на цьому ресурсі. «0» свідчить про неможливість обслуговування. Розв'язання задачі можна поділити на два етапи: на першому етапі виконується попередній аналіз вхідної інформації. Виділяються обов'язкові і конфліктні призначення. Під обов'язковими призначеннями розуміються призначення, яке потрібно виконати безумовно. Під конфліктними призначеннями маються на увазі призначення, які не потрібно виконувати в жодному ра Другий етап – власне призначення робіт на ресурси.

Вхідна інформація для складання розкладу у будь-якому навчальному закладі:

1. Перелік навчальних груп, викладачів, аудиторій, лабораторій.

2. Навчальні, учбові плани для кожної групи.

3. Індивідуальні показники кожного типу заняття, групи, аудиторії, лабораторії, викладача.

4. Перелік обов'язкових вимог до розкладу у цьому навчальному закладі та їх характеристик.

5. Інформація о резервування (блокування) певних часових інтервалів у викладачів, аудиторій, лабораторій (профілактика).

6. Перелік методичних вимог до розкладу в навчальному закладі.

Перелік обов'язкових вимог які забезпечують важливу організаційну можливість проведення занять.

1. Відсутність вікон у студентів.

2. Відсутність накладок у аудиторіях, лабораторіях, груп, викладачів.

Перелік оптимізуючи вимог:

1. Побажання викладачів.

2. Попереднє резервування аудиторій.

3. Рівномірне завантаження днів тижня.

4. Рівномірний розподіл різних видів занять на тиждень. (лекції, семінари, лабораторні, практичні.

5. Рівномірний розподіл занять із однієї дисципліни на тиждень.

6. Рівномірний розподіл занять з урахуванням складності предметів.

7. Зменшення «вікон» у викладачів.

Метою запропонованого методу та алгоритму є:

1. Повне розміщення уроків в просторі навчального тижня.

2. Повне виконання всіх обов'язкових вимог.

3. Максимальне виконання оптимізуючих вимог.

4. Максимальне забезпечення складання розкладу для всіх груп навчального закладу при обмежених ресурсах аудиторного та лабораторного фонду.

5. Складання розкладу для чергової групи з урахуванням впливу кожного призначення на можливість складання кінцевого розкладу наступних груп.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та вибір алгоритму рішення. У теоретичному плані ця задача є одним із різновидів задачі призначення і відноситься до класу NP-складних [3]. У роботі [11] автор виконав класифікацію видів розкладів у різних навчальних закладах. У більшості іноземних навчальних закладах застосовуються розклади з нестандартним навчальним тижнем [10; 12; 14; 15; 16]. В Україні прийнято розклад зі стандартним тижнем [4; 5; 6; 8; 9]. Тільки у військових навчальних закладах використовується розклад із нестандартним тижнем.

у відомих алгоритмах складання розкладу використовуються методи теорії графів, планування мереж, дослідження операцій, еволюційних методів. Усі алгоритми можна умовно розбити на чотири групи.

1. Складання розкладу методистом вручну з використанням зручного інтерфейсу з інформаційною системою навчального закладу [10; 14; 15; 16; 17].

2. Повний або частковий перебір варіантів, їх якісний аналіз та вибір найкращого варіанту [4; 8; 12].

3. Застосування евристичного підходу чи формалізація дій диспетчера, який складає розклад [1; 6; 10 ;13].

4. Застосування еволюційних алгоритмів [5; 6; 8; 9].

5. Спрямований пошук або покрокове конструювання (step by step) розкладу виходячи з обраних критеріїв оптимізації [7].

Алгоритми першого виду використовуються для навчальних закладів із малим числом груп. Зазвичай розклад складається послідовно по групам. Основним недоліком більшості алгоритмів заснованих на такому підході є необхідність зміни вже зроблених призначень і повторення деяких кроків у разі непридатності розкладу для нової групи. Методист не може визначити вплив виконаних призначень на розклад наступних груп. При складанні розкладу кожної нової групи потрібно враховувати зменшення зайнятих ресурсів попередніми групами. Це особливість розв'язання задач із передуванням. Алгоритми другого типу. можна використовувати лише у навчальних закладах із малим числом груп. Тільки там можлива генерація варіантів розкладу та вибір кращого.

Алгоритми третього виду відносяться до класу евристичних. Вони мають істотний недолік, що полягає у неможливості оцінити ступінь небезпеки призначення заняття на можливість виконання наступних призначень. Підхід с застосуванням генетичних алгоритмів (четвертий тип) дозволяє знайти найкращий варіант розкладу для поточної групи. Однак найкращий варіант для поточної групи, як і в попередньому підході, може привести до неспроможності взагалі скласти розклад в наступної. Тоді буде потрібна корекція чи повна зміна раніше складених розкладів, що пов'язано з зміною бази даних. У разі відсутності варіанта повного розміщення заявок по ресурсах може знадобитися повний перебір всіх варіантів, що при великій розмірності рівносильне зациклюванню алгоритму, і робить їх неприйнятними

через великі часові витрати. Найбільш привабливими є алгоритми п'ятого типу. У запропонованій статті описується один із варіантів реалізації такого алгоритму. Запропонований алгоритм відрізняється від відомих застосуванням дворівневої обробки вихідної інформації та покрокового ухвалення рішення про призначення заняття у часовий інтервал, що дозволяє враховувати умову передування. Крім цього введено поняття «надійний стан системи». Це дозволяє утримувати систему від виконання небезпечних призначень уроку у часовому інтервалі, яке може привести до неспроможності виконати наступні призначення. Такий підхід дозволяє враховувати при кожному призначенні заняття в часовий інтервал його вплив на можливість виконання наступних призначень у наступних групах.

Метод досліджень та обґрунтування етапу попереднього аналізу

Теоретичне обґрунтування виділення обов'язкових призначень

Аналіз властивостей незваженого дводольного графа під час вирішення завдання пошуку максимального паросполучення, також аналіз відомих алгоритмів дозволяють сформулювати наступну теорему.

Теорема 1:

Якщо у матриці MC[i,j], i=1..N, j=1..N графа G=(VR,VJ,E), де VR={1,2,...N}, VJ= {1,2,...N}, існує рішення потужністю n=N і існують такі вершини (p,q) що

MC[p,q]=1,

MC[p,j]=0 $\forall j \in \{1,..,N\} \backslash q$ та/або

MC[i, q] =0 $\forall i \in \{1, .., N\} \backslash p$.

Тоді ця пара (p,q) завжди бере участь у рішенні A, $(p,q) \in A$.

Визначення 1: призначення (p,q) за теоремою 1 називаються «обов'язковими».

Слідство 1.

Якщо існує рішення $A^{\square}$, то задача призначення можна розділити на дві частини: у першій частині беруть участь тільки обов'язкові призначення (p,q), у другій частині – призначення, що залишилися, з нової матриці зв'язності C_{RJ}, яку отримують після видалення рядків і стовпців відповідних обов'язковим призначенням, визначеним за теоремою 1. Причому, зважаючи на редукцію графа та відповідну корекцію MC, це слідство може застосовуватися рекурентно.

Теорема 2.

Якщо в матриці MC[i,j], i=1..N, j=1..N, ∃FA (присутне віяло):

– FA={(R^1,q), (R^2,q),..., (R^f,q)}, $R^k \in \{1,..,N\}$, $2 \le f \le N$, где MC [R^k,q]=1 для $\forall k=1..f$ і MC[Rk,Jk]=0, $\forall Rk \in \{1,..,N\} \backslash p$ або

– FA={(p,J^1), (p,J^2),..., (p,J^f)}, $J^k \in \{1,..,N\}$, $2 \le f \le N$, где MC [p,J^k]=1для $\forall k=1..f$ і

MC[Rk,Jk]=0, $\forall Jk \in \{1,..,N\} \backslash q$

тоді будь-яка з вершин FA входить до одного з варіантів максимального паросполучення, завдання призначення не має повного рішення і потужність максимального паросполучення визначається з виразу M<N-f+1.

Слідство 2

Розмірність розв'язання задачі пошуку максимального паросполучення може бути зменшена на кількість пар вершин, визначених за Теоремами 1 і 2 та пошук паросполучення має вестись з нового суграфа.

Слідство 2* Розмірність розв'язання задачі пошуку максимального паросполучення має бути зменшена на кількість вершин, що входять у віяло, а пошук паросполучення має вестись з нового суграфа.

Слідство 3

Сумежні ребра, інцидентні вершинам, визначеним за Теоремою 1, повинні бути видалені з подальшого розгляду, а вихідний граф редукований і перетворений на новий суграф.

Слідство 4

Сумежні ребра, інцидентні вершинам, визначеним за Теоремою 2, повинні бути видалені з подальшого розгляду, а вихідний граф редукований і перетворений на новий суграф.

Теоретичні обґрунтування виділення конфліктних призначень.

Теорема 3.

Якщо у матриці MC[i,j], i=1..N, j=1..N можна виділити підматрицю MM[k,l], k=1..T, l=(N-S+1). .N, де S+T>N і MM=θ (θ – нульова матриця), тоді задача призначення немає повного рішення і потужність паросполучення дорівнює Za=S+T-N. Рис. 1.

Рис. 1.

Теорема 4. Якщо у матриці MC[i,j], i=1..N, j=1..N, можна виділити підматрицю MN[k,l], k=1..T, l=(N-S+1) ..N, де S+T=N і MN=θ, тоді для Ri∈{1,..,(N-S)}, Jj∈{(T+1),..,N}: ∀(Ri , Jj)∉A. Усі (Ri, Jj)∉A повинні бути обнулені та виключені з розгляду при пошуку повного рішення (рис. 2).

Теорема 5

Якщо в матриці MC[i,j], i=1..N, j=1..N, можна виділити кілька підматриць, що задовольняють Теоремі 5, то всі відповідні симетричні їм відносно головної діагоналі, підматриці є «конфліктними» і повинні бути обнулені.

Опис алгоритму покрокового пошуку

Мета застосування такого підходу – виключити або зменшити перебір варіантів та забезпечити прийнятну якість складеного розкладу з урахуванням умови передування.

Для цього в запропонованому алгоритмі використовуються такі принципи :

– Принцип оптимальності Белмана використовується для задач, вирішення яких можна подати у вигляді зв'язаного ланцюжка призначень для досягнення кінцевої мети.

– Принцип MIN – MAX-ного вибору для пошуку призначення кожного уроку.

– Використання принципу «надійного» стану системи.

Відмінність запропонованого алгоритму від відомих полягає в тому, що при складанні розкладу поточної групи будь-яке призначення уроку у часі та просторі не повинно призвести до неможливості призначень на наступних кроках алгоритму Принцип надійного стану системи використовується в «алгоритмі банкіра» Дейкстра. Під надійним станом системи розуміється стан, у якому виконання чергового кроку розміщення не повинно призвести до конфлікту у наступних. Надійний стан враховується при вибору інтервалу призначення заняття. При цьому враховується кількість дисциплін які претендують на цей часовий інтервал. Це локальний надійний стан. При цьому забезпечується складання розкладу в поточної групи. Крим того система повинна при виборі часу призначення забезпечити рівномірне завантаження загальних ресурсів які розділяються (аудиторій, лабораторій, викладачів). При цьому забезпечується складання розкладу у наступних групах. Це глобальний надійний стан. До вимог, по яким визначається глобальний надійний стан системи відносяться:

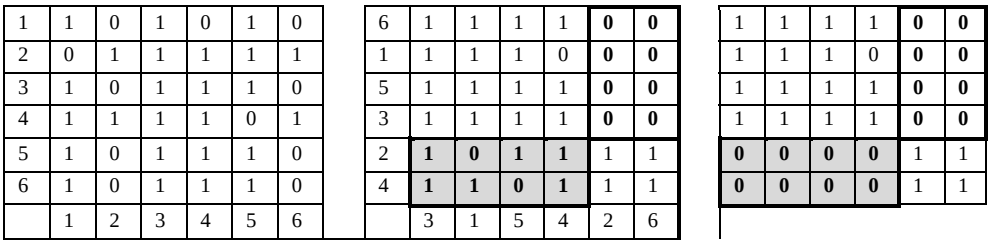
1. Рівномірне завантаження викладача по дням тижня.

2. Рівномірне завантаження аудиторій кожного типу по дням тижня і урокам.

3. Рівномірне завантаження лабораторій по дням тижня.

Ні в одному відомому алгоритмі ні враховується як складання розкладу в поточної групі впливає на складання розкладу в наступних групах. Тобто оптимальний розклад в поточної групі при обмежених, ресурсах які розділяються (викладачах, аудиторіях, лабораторіях) може привести до неспроможності складання розкладу у наступної групи або складання розкладу низької якості.

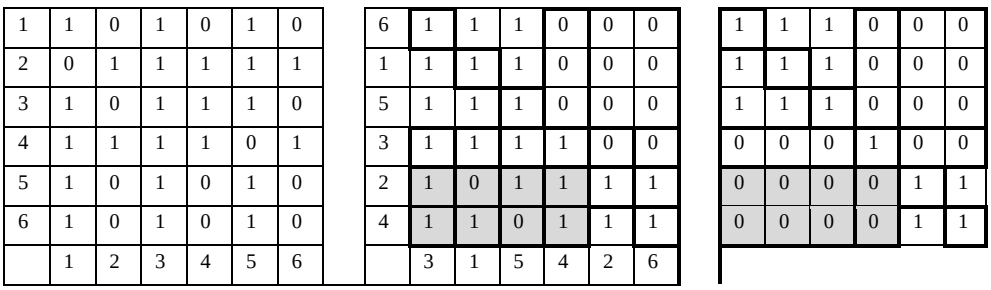
Складність розв'язання задачі складання розкладу визначається сукупністю та взаємозв'яз-



а вхідна МС; б МС після перетворення; в. МС після корекції

– конфліктна зона

Рис. 2.



а вхідна МС; б МС після перетворення; в. МС після корекції

– конфліктна зона

Рис. 3.

ком дисциплін, що входять до навчального плану, структурою навчального тижня, переліком вимог до системи планування.

Вихідною інформацією для вирішення задачі пропонованим алгоритмом є сукупність заявок та їх індивідуальні характеристики, що дозволяють визначити ступінь переваги призначення кожної заявки (у діапазоні від 0 до 1) на кожний часовий інтервал дня та тижня. Визначаються – назва предмета, тип заняття, кількість годин на тиждень, викладач(и) та необхідна аудиторія або лабораторія (рис. 4).

Процес складання розкладу поділено на два етапу. Перший етап це розподіл занять у часі (дня та уроку) без призначення аудиторій загального користування але з урахуванням кількості та місткості аудиторій. На наступному виконується призначення аудиторій з урахуванням тривалості переходів учнів з одної аудиторії до іншої. При виконанні першого етапу враховуються можливості аудиторного фонду навчального закладу. Загальна кількість призначених занять у будь-який часовий інтервал не повинна перевищувати кількості аудиторій певної місткості та типу.

Алгоритм призначення занять у часових координатах тижня містить такі кроки.

1. Формування спеціальної матриці вибору (МВ).

2. Аналіз МВ, діагностика конфліктних ситуацій та вироблення рекомендацій щодо корекції вихідної інформації.

3.Виконання обов'язкових призначень.

4. Вибір предмета для розміщення.

5. Вибір дня тижня та часу проведення уроку в ньому для заняття.

6. Корекція МВ та перехід до п. 2 до розміщення всіх занять.

На першому кроці використовується табличний метод управління та формується двомірна булева МВ. У ній відображається можливість розміщення кожного запланованого заняття у кожному часовому інтервалі (дні та уроку). При цьому враховується поточне завантаження груп, викладачів, аудиторій чи лабораторій. Структура МВ та її формування та використання принципово виключають появу накладок або конфліктних ситуацій у кінцевому розкладі. Алгоритм формування МВ на основі табличного метода управління забезпечує виконання обов'язкових вимог до розкладу.

Розглянемо формування рядка МВ на прикладі (рис. 5). Для визначення місця можливого розміщення лекційного заняття L необхідно враховувати поточне завантаження викладача P, аудиторії A та групи G. Позначимо «1» фізичну можливість проведення заняття та «0» – неможливість. Тоді після аналізу вихідної інформації будуть сформовані такі вектори P, A, G.

В результаті виконання логічного множення векторів P, A, G отримуємо результуючий вектор L, де і відображаються ті часові інтервали (дні та пари), в які практично можливе розміщення дисципліни L. Описана операція виконується для всіх дисциплін навчального плану групи, для якої складається розклад. В результаті одержуємо МВ, показану на.

На наступному кроці виконується аналіз МВ. У разі неможливості розміщення якогось запланованого заняття у сітці тижня проводиться детальний аналіз конфлікту, визначається його причина та в автоматичному чи інтерактивному режимі здійснюється корекція вихідної інформації. Запропонована форма МВ дозволяє виділити призначення, які є обов'язковими, тобто. мають єдине місце розміщення. Воно фіксується і МВ корегується. Тобто с МВ забираються розміщене заняття і зайнятий часовий інтервал. При цьому розмірність розв'язання задачі зменшується, а МВ корегуєтеся. На наступному кроці вибирається

НАВЧАЛЬНИЙ ПЛАН КЛАСУ						
Предмет	**Від заняття**	**Кількість годин у тиждень**	**Викладач перший**	**Кабінет перший**	**Викладач другій**	**Кабінет другій**
Математика	Лекція	4	Болотов	23		
Математика	Семінар	4	Болотов	23		
Фізика	Лекція	1	Голіков	32		
Фізика	Семінар	2	Голіков	32	Голіков	33
Фізика	Лаб.	2	Гудзь	32	Голіков	33
Обчислювальна техніка	Семінар	2	Федорів	47	Гедзь	48
Креслення	Лекція	1	Тропін	50		
Хімія	Лекція	2	Чернецька	41		
Українська мова	Лекція	5	Соколов	26		
Англійська мова	Семінар	3	Власов	34	Сідоров	33
Фізкультура	Семінар	3	Жидов	Спорт зал	Сіміна	Спорт зал

Рис. 4. Навчальний план одної групи середній школи

дисципліна та час для розміщення. Для цього використовується принцип MIN – MAX ного вибору. Тобто спочатку вибирається дисципліна, що знаходиться у гіршому становищі стосовно інших. Для цього для кожної дисципліни підраховується кількість можливих місць розміщення. Для кожної дисципліни обчислюється коефіцієнт вибору Kvi та вибирається дисципліна, що має мінімальне значення Kvi. Для цього визначається сума одиниць чи можливих місць розміщення вибраної дисципліни і у сітці тижня. Тут використовується сформована та скоригована на попередніх кроках МВ'. Ця стратегія зменшує можливість переходу системи у локальний ненадійний стан (рис. 7). Наступний крок призначений для визначення часового інтервалу розміщення обраної на попередньому кроці дисципліни. Для кожного можливого місця розміщення в сітці тижня (дня і уроку t) дисципліни обчислюється коефіцієнт претендування Kp, t який є комплексним коефіцієнтом, що враховує виконання оптимізуючи вимоги, для кожного можливого місця розміщення обраної дисципліни. При обчисленні Kp,t враховується стан системи планування, тобто. розташування вже призначених занять та вагові коефіцієнти кожної вимоги.

Використання вагових коефіцієнтів дозволяє адаптувати, налаштувати систему до навчального закладу. Kp,t обчислюється з виразу

$$K_{p,t}=K_{k,t}\times\prod_{x=1}^{n}R_{x,t}\times\sum_{Y=1}^{N}\left(K_y\times R_{y,t}\right),t\ldots1,$$

де: Kk,t – Коефіцієнт безпеки призначення обраного заняття L в часовий інтервал t (при його обчисленні враховується ступінь претендування інших дисциплін на розміщення в аналізованому інтервалі t);

Rx,t ступінь виконання обов'язкової вимоги x у часовій інтервал t (може набувати значення 0 або 1);

Ry,t ступінь виконання оптимізуючи вимоги у в часовий інтервал t (може приймати значення від 0 до 1);

Ky – ваговий коефіцієнт Ry вимоги (значення визначаються методом експертних оцінок або підбираються експериментальним шляхом під час експлуатації системи).

В результаті обчислення коефіцієнтів Kp,t у часовому інтервалі t з максимальним значен-

Навчальний тиждень																									
	Понеділок				Вівторок				Середа				Четвер				Пятніца				Субота				
	Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				
P	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	а
A	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	б
G	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	в
L	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	

Рис. 5. Формування рядка МВ

Навчальний тиждень																									
Понеділок				Вівторок				Середа				Четвер				П'ятниця				Субота					
Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Дісципліна	
1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	Фізіка	
0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Біологія	
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0		1	Фізкультура	
. . . . .																									
1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	Математика	

Рис. 6. Вибір дисципліни для розміщення

Навчальний тиждень																										
	Пон				Вівторок				Середа				Четвер				П'ятниця				Субота					
Дісципліна	Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				K_{vi}	
Фізіка	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	6	
Біологія	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	5	
Фізкультура	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	6	
Математика	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	5	
. . . . .																										
Хімія	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	5	
Географія	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3	
Іноземна мова	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	5	

Рис. 7. Приклад вибору часу проведення занять

РОЗКЛАД ДЛЯ КЛАСУ 9А						
	Понеділок	**Вівторок**	**Середа**	**Четвер**	**П'ятниця**	**Субота**
1 урок 8.30-9.15	Українська мова Лекція.	Фізкультура Семінар	Біологія Лекція	Українська мова Лекція.	Фізика Семінар	Креслення Лекція
2 урок 9.20-10.05	Українсько мова Лекція.	Хімія Лекція	Фізика Лекція	Українська мова Лекція.	Хімія Лекція	Історія Лекція
3 урок 10.15-11.00	Іноземна мова Семінар.	Креслення Лекція	Історія Лекція	Фізкультура Семінар	Географія Лекція	Фізіка Лаб.
4 урок 11.15-12.00	Обчислювальна Техніка Лекція	Математика Лекція.	Географія Лекція	Іноземна мова Семінар.	Обчислювальна Техніка Лекція	Математика Лекція.

Рис. 8. Приклад готового розкладу

ням коефіцієнта Kp, t виконується призначення заняття L у цей часовий інтервал. При цьому необхідно скоригувати завантаження викладачів, аудиторій чи лабораторій та записати відповідну інформацію до розкладу групи. З іншого боку виконується корекція МВ, тобто. «занулюється» рядок розподіленої дисципліни та стовпець, що відповідає часовому інтервалу, на який ця дисципліна розподілена і виконується перехід до п. 2 алгоритму. Описані вище кроки повторюються до складання розкладу. Рис. 8.

ВИСНОВКИ

НАУКОВА НОВИЗНА.

1. Вперше застосовано попередню обробку вихідної інформації

Виконання попереднього аналізу вихідної інформації та визначення стратегії і її реалізації дозволяють:

а) визначити важливу можливість отримання рішення;

б) локалізувати причину конфлікту;

в) визначити обов'язкові призначення;

г) визначити призначення, що призводять до конфлікту;

2. Вперше використовується поєднання принципу оптимальності Белмана з фіксацією надійного стану системи.

Концепції надійного стану системи планування та обчислення коефіцієнтів Kvi, Kk,t дозволяє:

а) виключити конфліктні призначення;

б) практично уникнути повторення вже виконаних кроків.

3. Застосування описаного алгоритму на основі методу спрямованого пошуку (покрокового конструювання) дозволило детермінувати кількість кроків формування розкладу. Число кроків за цим алгоритмом дорівнює кількості занять за навчальним планом.

У всіх відомих системах складання розкладу якість розкладу оцінюється методом експертних оцінок і немає алгоритму кількісної оцінки якості складеного розкладу тому порівнювати іх складно.

Якість розкладу у запропонованому алгоритмі оцінюється сумою коефіцієнтів призначення всіх занять у часові інтервали з формули

$$K_{p,t}=K_{k,t}\times\prod_{x=1}^{n}R_{x,t}\times\sum_{Y=1}^{N}\left(K_{y}\times R_{y,t}\right),t\ldots1,$$

Приблизний час складання розкладу для однієї навчальної групи вимагає до 0,05 секунди машинного часу в залежності від використовуваного комп'ютера. Якість розкладу складеним запропонованим алгоритмом при тестуванні була не меншою за 60%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Берегових Н.О., Алгоритм складання розкладу занять/ Н.О. Берегових, Б.А. Васильєв, М.О. Володін. Государственный университет информатики и искусственного интеллекта, Рг. Донецк, Украина: Ж. «Искусственный интеллект». № 2. Б2. 2009. 50–56 с.
2. Бульонков М.А. К стандартизации данных для составления расписания в учебных заведениях/ М.А. Бульонков, П.Г. Емельянов, Е.В. Пак. Открытое образование. 2010. № 3. 45–57 с.
3. M. Garey, и D. Johnson Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness M. Garey, D. Johnson – Bell laboratory Murray Hill,New Jersey, 1982. 416 с.
3. Гайтан О.М. Автоматизація генерації розкладу навчального процесу університету. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. К. : Гельветика, 2020. Т. 31 (70). Ч. 1, № 2. 58–66 с.
5. Дімова Г.О. Розробка моделі складання розкладу занять методом еволюційного пошуку/ Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 2. 66 с.
6. Кисіль В.В., Драч І.В., Кисіль Т.М. Модель задачі складання та оптимізації розкладу занять за умови задоволення об'єктивних та суб'єктивних вимог навчального закладу/ В. В. Кисіль І.В. Драч, Т. М. Кисіль. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. Том 30 (69) Ч. 1. № 6. 65–70 с.
7. Симоненко В.Метод пошагового конструирования длясоставления расписания занятийв учебных

заведениях/ В. Симоненко, С. Симоненко. Ж. System Research & Information Technologies, 2008, № 4. 76-85 с.
8. Томашевський В.М. Складання розкладів занять у дистанційних системах навчання / В.М. Томашевський, Ю.Л. Новіков, П.А. Камінська. Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Іформатика, управління та обчислювальна техніка. 2010. Вип. 52. 118–130 с. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkpi_iuot_2010_52_20
9. Zanevych O. Про розв'язування задачі складання розкладу занять, використовуючи генетичний алгоритм / O. Zanevych, V. Kukharskyy. Вісник Львівського університету. 2019. № 27. 136–143 с.
10. Jonathan Snyder. System for scheduling 9 and managing educational [Електронний ресурс]. Режим доступу https//www.asctimetables com/?gclid= 9r43XgQMVMhoGA B1ogBnfE AAY ASAAEgIG9fD Patent Application Publication (10) Pub. No.: US 2008/0057482 A1, Snyder et al. (43) Pub. Date: Mar. 6, 2008, (Дата звернення 6.09.2023).
11. Cheyenne Lemmon, Scheduling Overview, Models & Examples (2023) [Електронний ресурс]. Режим доступу:https://study.com/learn/lesson/school-scheduling-overview-models-examples.html, (Дата звернення 6.09.2023).
12. Perfect scheduling - School scheduling by aSc - Create timetable [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.asctimetables.com/?gclid=EAIaIQob ChMI68-9r43XgQMVMhoGAB1ogBnfEAAYAS-AAEgIG9fD_BwE.(Дата звернення 6.09.2023).
13. R.I Khabipov, of the Creation of the Schedule at the University, Utopía y Praxis Latinoamericana, Universidad del Zulia25, № Esp. 7, pp. 251–256, 2020.
14. Oakley Montgomery, Advice on Scheduling College Classes Effectively (2023). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https//c?ollegesofdistinction. com/advice/top-advice-on-scheduling-college-classes-effectively/ Дата звернення (6.09.2023).
15. Best Academic Scheduling Software in 2023, Електронний ресурс], Режим доступу: https://www.g2.com/categories/academic-scheduling Дата звернення (6.09.2023).
16. Konstantina Ferentinou, Class Scheduling Software for educational institutions.(2022) [Електронний ресурс]. Режим доступу https://www. dreamclass.io/2022/class-scheduling-software-for-educational-institutions/ (Дата звернення (6.09.2023).
17. University Scheduling Policy (2015) [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.du.edu/registrar/faculty-staff-resources/course-scheduling-guide/university-scheduling\ (Дата звернення 6.09.2023)

REFERENCES

1. Beregovyh N.O. (2009) Algorithm for drawing up a class schedule / N.O. Beregovyh, B.A. Vasiliev, M.O. Volodin. State University of Informatics and Artificial Intelligence, Pg. Donetsk, Ukraine: J. "Iskusstvennyj intellekt" № 2. B2. Pp. 50–56.
2. Bulyonkov M.A. (2010) To the standardization of data for the compilation of timetables in educational institutions / M.A. Bulyonkov, P.G. Emelyanov, E.V. Pak. Open education. № 3. Pp. 45–57.
3. M. Garey, и D. Johnson (1982) Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness M. Garey, D. Johnson. Bell laboratory Murray Hill, New Jersey, 416 c.
4. Haytan O.M. (2020) Automation of the generation of the schedule of the educational process of the university. Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: Technical sciences. K.: Helvetica, Vol. 31 (70). Part 1, № 2. 58–66 p.
5. Dimova G.O. (2022) Development of a model for drawing up a class schedule by the evolutionary search method/ Tavriysk scientific bulletin. Series: Technical sciences. Kherson: "Helvetika" Publishing House, Issue 2. 66 p.
6. Kysil V.V., Drach I.V., Kysil T.M. (2019) Model of the task of drawing up and optimizing the class schedule under the condition of meeting the objective and subjective requirements of the educational institution / V. V. Kysil I. V. Drach, T. M. Kysil. Scholarly notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: technical sciences. Volume 30 (69) Part 1. № 6. 65–70 p.
7. Symonenko V. (2008) Method of step-by-step construction for drawing up a schedule of occupations in educational institutions / V. Symonenko, S. Symonenko. Zh. System Research & Information Technologies, № 4. 76–85 p.
8. Tomashevskyi V.M. (2010) Drawing up class schedules in distance learning systems / V.M. Tomashevskyi, Yu.L. Novikov, P.A. Kaminska. Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI". Informatics, management and computer technology. Issue 52. 118-130 p. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkpi_iuot_2010_52_20
9. Zanevych O. (2019) About solving the task of drawing up a class schedule using a genetic algorithm / O. Zanevych, V. Kukharskyy. Bulletin of Lviv University. № 27. 136–143 p.
10. Jonathan Snyder (2008) System for scheduling 9 and managing educational [Electronic resource]. Access mode https//www.asctimetables.com/?gclid =9r43XgQMVMhoGA B1ogBnfE AAY ASAAEgIG9fD Patent Application Publication (10) Pub. No.: US 2008/0057482 A1, Snyder et al. (43) Pub. Date: Mar. 6, 2008 (Date of access 09.6.2023)