

Кисіль В.В.

Хмельницький національний університет

Драч І.В.

Хмельницький національний університет

Кисіль Т.М.

Хмельницький національний університет

МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ СКЛАДАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ ЗА УМОВИ ЗАДОВОЛЕННЯ ОБ'ЄКТИВНИХ ТА СУБ'ЄКТИВНИХ ВИМОГ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

Добре розроблений розклад може стати основою для реалізації науково-педагогічного потенціалу навчальних курсів і для кращої засвоюваності матеріалу студентами. Задачі розподілу навчальної роботи між співробітниками кафедри, розробки навчального розкладу в значній мірі визначають ефективність організації освітнього процесу. Правильно й точно складений розклад забезпечує рівномірне завантаження студентських груп і професорсько-викладацького складу. Від вдало складеного розкладу залежить ефективність роботи викладачів, засвоєння навчального матеріалу студентами, раціональне використання інтелектуальної й матеріальної баз вузу. Таким чином, дослідження, спрямовані на розробку алгоритмів автоматизації побудови навчального розкладу, є актуальними.

Цілями роботи є дослідження математичних, інформаційних і алгоритмічних моделей, а також методів, алгоритмів для розв'язку задачі автоматичної побудови розкладів навчальних занять і на основі аналізу результатів цього дослідження розробка алгоритму, який надає можливість створювати розклад за умови задоволення об'єктивних та суб'єктивних вимог навчального закладу. Для розробки алгоритму виділені вимоги до розкладу занять. В основу алгоритму покладена ідея оцінки волі (цінності) розташування занять у розкладі. Оптимізація відбувається за принципом Парето – поки не можна буде переставити чи змінити елементи так, щоб не зменшити цінність жодного із них. Серед переваг побудованого алгоритму можна відзначити можливість генерації прийнятних варіантів розкладу вже з першої ітерації. В алгоритмі передбачена можливість значного поліпшення розкладу завдяки додаванню додаткових критеріїв оцінки волі і якості розташування занять у розкладі.

Ключові слова: розклад навчальних занять вз, об'єктивні та суб'єктивні вимоги до розкладу, структурна схема алгоритму складання навчального розкладу, функція для визначення цінності розташування елемента розкладу, оптимальний розв'язок, Парето-оптимізація.

Постановка проблеми. Якість підготовки фахівців у вузах і особливо ефективність використання науково-педагогічного потенціалу залежать деякою мірою від рівня організації навчального процесу. Одна з основних складових цього процесу – розклад занять – регламентує трудовий ритм, впливає на творчу віддачу викладачів, тому його можна розглядати як фактор оптимізації використання обмежених ресурсів – викладацького складу й аудиторного фонду [1]. Проблему складання розкладу слід сприймати не тільки як трудомісткий процес, об'єкт автоматизації з використанням ЕОМ, але і як акцію оптимального керування. Оскільки всі фактори, що впливають на розклад, практично неможливо врахувати, а інтереси учасників навчального процесу різно-

манітні, завдання складання розкладу є багато-критеріальною задачею з множиною нечітких факторів. Розв'язання таких завдань, як правило, здійснюється у два етапи: одержання оптимального (з погляду використовуваних критеріїв) варіанта і його наступна доробка людиною (диспетчером) з метою максимального врахування неформалізованих факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільший внесок у розвиток теорії розкладів внесли: Р. Акоф, Р. Беллман, М. Данциг, М. Кун, Т. Сааті, Р. Чермен, А. Кофман, Р. Форд й інші. Існуюча теорія розкладів застосовна при складанні розкладів роботи устаткування у цехах, і в той самий час має істотні обмеження щодо застосування для складання розкладу занять у ВНЗ [1]. Проблеми

складання розкладу занять у вищій школі присвячені дослідження В.В. Балашова, Ю.В. Берегових, С.П. Дмитрієва, Д.А. Зоріна, В.О. Костенка, М.Г. Маслова, С.М. Нестеренкова, М.Т. Jensen, Н. Larget, R. Lewis, М. Marte, С. Mihaila.

Задача складання навчального розкладу належить до класу слабо формалізованих, багатокритеріальних задач векторної оптимізації. Для її опису доводиться враховувати велику кількість параметрів і обмежень. Не дивлячись на велику кількість робіт, присвячених цій задачі, оптимального розв'язку для автоматизації процесу складання розкладу дотепер не знайдено [2]. Існує багато постановок цієї задачі, що різняться строгістю математичної формалізації, запропоновані різні методи й алгоритми її розв'язку [3 – 5]. У кожній з них є свої переваги й недоліки, однак загальноновизнаних і незаперечних моделей, методів і алгоритмів немає.

У відомих алгоритмах складання розкладу використовуються методи теорії графів, сітьового планування, дослідження операцій. Усі підходи до побудови алгоритмів можна умовно розбити на три групи.

1. Повний або частковий перебір варіантів, їх кількісний аналіз і вибір найкращого варіанта.
2. Моделювання (формалізація) дій диспетчера, що складає розклад.
3. Покрокове конструювання розкладу на основі обраних критеріїв оптимізації.

Алгоритми першого виду використовуються для навчальних закладів з малою кількістю груп. Однак для вищих навчальних закладів із кількістю груп більшою за 100 їх застосування неприйнятне через експонентний ріст числа варіантів. Основним недоліком більшості алгоритмів при частковому переборі або заснованих на методі гілок і меж є зміна вже зроблених призначень і повторення деяких кроків у випадку непридатності одержуваного варіанта розкладу. Це обумовлене впливом готового розкладу груп на складання нового. Тут потрібна корекція або повна зміна раніше складених розкладів, що пов'язано зі змінною бази даних. У випадку відсутності варіанта повного розміщення заявок по ресурсах може знадобитися повний перебір усіх варіантів, що при великій розмірності рівносильне зацикленню алгоритму і робить їх неприйнятними через величезні часові витрати.

Алгоритми другого виду належать до класу евристичних. Вони мають істотний недолік, що полягає в неможливості оцінити ступінь якості призначення заняття на можливість виконання наступних призначень.

Найбільш привабливими є алгоритми третього виду. Основою алгоритмів є підхід, що має назву «метод покрокового конструювання» або «метод спрямованого пошуку» [6]. Мета застосування такого підходу - виключити або зменшити перебір варіантів і забезпечити прийнятну якість складеного розкладу.

Сучасні технічні засоби дозволяють організувати й планувати навчальний процес із використанням моделей, методів і алгоритмів штучного інтелекту. У системі якості освіти одним з основних критеріїв виступає оптимальність розкладів занять і інших складових навчального процесу. Для можливості застосування моделей, методів і алгоритмів систем штучного інтелекту необхідно формалізувати навчальний процес. Для розв'язку задачі складання розкладу застосовується ще один новий підхід – нейронні мережі (М. Пилинський, Д. Рутковська). Найважливішим недоліком застосування цього підходу є складність вибору початкового стану нейронної мережі.

В останні роки особливого поширення одержали дослідження методів еволюційного пошуку (В.П. Єрунов, І.І. Морковін, І.Л. Каширіна, Г.Ф. Нізамова). Застосування методів еволюційного пошуку приводить до одержання гарних результатів, однак має місце висока обчислювальна трудомісткість і відносна неефективність на заключних етапах еволюції. У роботі Г.Ф. Нізамової використовуються методи системного аналізу, що дозволяє спростити розв'язувану задачу, але це приводить до жорсткої прив'язки складеного розкладу до викладацького складу.

Формулювання цілей статті. У цій роботі запропонований розв'язок першого етапу проблеми – розробка алгоритму одержання максимально оптимального розкладу. Для розробки алгоритму в першу чергу виділені вимоги до розкладу занять. В основу алгоритму покладена ідея оцінки волі розташування занять у розкладі, після чого розроблена структурна схема алгоритму, і описані всі етапи його роботи. Внаслідок неможливості оптимізувати розклад повністю через різні підоснови критеріїв та систем оцінки розкладу абсолютна оптимізація буде теоретично недосяжною, проте прийнятною для зазначених критеріїв.

Виклад основного матеріалу дослідження. При складанні розкладу виникає проблема оптимального керування ресурсами: викладацьким складом і аудиторним фондом. У процесі розв'язку завдання необхідно враховувати обов'язкові обмеження, а також додаткові вимоги,

які можуть порушуватися в деяких випадках. До обов'язкових обмежень належать: місткість аудиторій повинна бути достатньою для груп, які в ній займаються, специфічне устаткування аудиторій (комп'ютерний клас або лабораторія, лекційна аудиторія з мультимедійним устаткуванням, тощо); теоретичні заняття для дисциплін за спеціальністю планувати на першу половину навчального дня. До додаткових вимог належать: навантаження для кожної групи повинне бути рівномірним, щоб уникнути перевтоми студентів; у заняттях студентів і викладачів не повинно з'являтися вікон (для розкладу викладача остання вимога є нестрогою); по можливості викладачам повинні надаватися дні, вільні від проведення занять у ВНЗ; додаткові побажання викладача щодо проведення занять (наприклад, у п'ятницю кількість занять повинна бути меншою, ніж в інші дні тижня; першим заняттям у понеділок повинен бути відносно простий предмет, інакше успішність студентів може суттєво знизитися та інші).

У результаті аналізу вимог до розкладу занять було ухвалене рішення про необхідність у розробці алгоритму закладення можливості щодо розширення списку вимог до розкладу занять, а також можливості регулювання пріоритетів виконання окремих вимог при складанні розкладу.

Кожну пару автори оцінюють за числовою функцією, яка приймає на вхід наявний розклад, дані про пару та позицію, куди необхідно поставити заняття та видає певне числове значення. Для початкового створення розкладу достатньо використати звичайний жадібний алгоритм, який на кожному кроці обирає заняття, що мають найбільше обмежень, та розставляє їх по позиціях, що найкраще їм підходять. Такий підхід дозволить розставити заняття з найбільшою кількістю обмежень без особливих проблем і поступово заповнити вільні проміжки часу заняттями, що мають найменші обмеження за проміжками часу розміщення. Для оптимізації можна використати той самий жадібний алгоритм, що буде обмінювати заняття (пари) за принципом Парето – жодна з пар не повинна зменшити вартість після обміну, що достатньо сильно збільшить збіжність алгоритму до одного з локальних мінімумів. Також таку оптимізацію можна перезапускати довільну кількість разів, що дозволяє робити незначні зміни та оптимізувати розклад. Внаслідок того, що для такого алгоритму не створюється додаткових таблиць ваги, графів та копій розкладу в вигляді «популяцій», цей алгоритм не буде використовувати багато ресурсів.

Автори наводять у скороченому вигляді математичну модель розкладу у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1
Модель елемента розкладу з прив'язкою до часу

День	Пара	Чис/ знам	Група	Пред- мет	Викла- дач	Ауди- торія
...

Розклад – заповнена таблиця, де кожний рядок – елемент розкладу.

Функція для визначення цінності розташування елемента розкладу має вигляд:

$$F(e, r, E, t) = \omega(Z^e, e) \omega(Z^G, e) \omega(Z^T, e) (a_i^T a^T(E, e, t) + a_g w(E, G, t) + c_i^e c(E, e, t)),$$

$$e = [G, T, C, L], \quad r = [Z^G, Z^T, Z^e],$$

де t – час, на якому розміщений елемент розкладу (день, пара, чисельник/знаменник), e – елемент розкладу, E – масив елементів розкладу, прив'язаних до часу, G – групи студентів, T – викладач, C – аудиторія, L – предмет, який буде викладатись, r – обмеження розташування елементів розкладу, Z^G – обмеження, що накладаються групою студентів, Z^T – обмеження, що накладаються викладачем, Z^e – обмеження, що накладаються іншими елементами розкладу, які вже прив'язані до часу, a_i^T – числовий ваговий коефіцієнт, що відображає побажання викладача проводити пару в час t , $a^T(E, e, t)$ – функція, що визначає ваговий коефіцієнт побажання викладача проводити пару з певної дисципліни, в певній групі, в певній аудиторії, в певний момент часу t , a_g – ваговий коефіцієнт пари, що міститься у «вікні» між іншими парами, c_i^e – числовий ваговий коефіцієнт, що збільшує цінність розташування декількох елементів e підряд, $c(E, e, t)$ – функція, що визначає, чи збільшувати цінність однакових елементів розкладу, які стоять в послідовні проміжки часу

$$c(E, e, t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо кількість послідовних подібних елементів менша за доцільну;} \\ 0, & \text{якщо немає подібних послідовних елементів;} \\ -1, & \text{якщо кількість послідовних подібних елементів більша за доцільну;} \end{cases}$$

$w(E, G, t)$ – функція що визначає наявність проміжку між елементами розкладу групи G в певний день у проміжок часу t :

$$w(E, G, t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо проміжок наявний;} \\ 0, & \text{якщо проміжку немає;} \end{cases}$$

$\omega(Z, e, t)$ – функція, що визначає допустимість розташування елемента розкладу e у вказаний проміжок часу t із врахуванням обмеження Z :

$$\omega(Z, e, t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо обмеження } Z \text{ виконується;} \\ 0, & \text{якщо розташування недопустиме.} \end{cases}$$

Функція визначення цінності розташування елемента розкладу $F(e, r, E, t)$ набуває найбільших значень для тих проміжків часу, коли викладачі бажають проводити заняття; декілька однотипних елементів розкладу розташовуються по декілька підряд (для кращого засвоєння матеріалу студентами), тощо; і набуває нульового значення для часових проміжків, в яких вимоги студентів або викладачів не задовольняються.

Функціонування алгоритму побудови та оптимізації розкладу занять показано на рисунку 1.

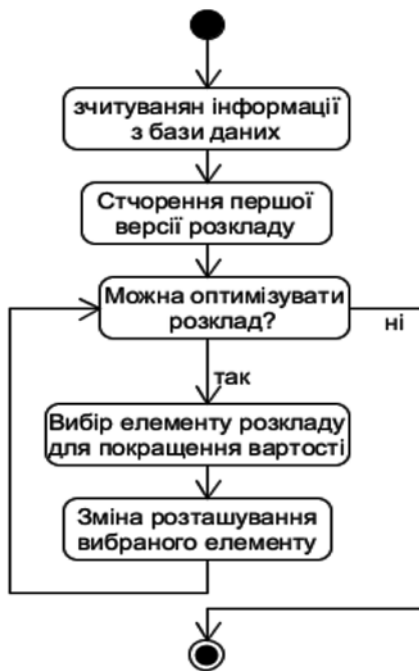


Рис. 1. Алгоритм побудови та оптимізації розкладу занять

Початковий варіант розкладу створюється покроковим додаванням елементів розкладу до існуючого розкладу в позиції з найбільшою цінністю. Оскільки початковий варіант розкладу може мати елементи, цінність яких можна покращити, то після побудови першого варіанта здійснюється оптимізація. Оптимізація відбувається наступним чином: вибирається елемент розкладу з найменшою цінністю, змінюється час розташування або елемент обмінюється розташуванням в часі з іншим елементом розкладу таким чином, щоб результуюча цінність вибраного елемента зросла найбільше. Оптимізація відбувається за принципом Парето – поки не можна буде переставити чи змінити елементи так, щоб не зменшити цінність жодного із них.

Алгоритм працює за принципом від більшого до меншого: спочатку обираються елементи розкладу з найбільшою кількістю обмежень і розставляються, далі обирається група, в якій є ще непроставлені години, і ці години перетворюються в елементи розкладу і проставляються, так повторюється до тих пір поки є непроставлені години для вибраних груп.

Після того, як створений первинний варіант розкладу, відбувається оптимізація – порівняння пар в кожній групі і переставляються пари для збільшення їх цінності за принципом Парето (якщо цінність будь-якої пари в результаті нижча, то варіант відкидається) [7, 8].

Автори описують формули для початкового розставлення елементів розкладу і оптимізації розкладу, які закладені в алгоритми побудови розкладу занять ВНЗ.

Формула (1) – початкове розставлення елементів розкладу:

Цінність [елементу розкладу] в певний [час проведення] в [аудиторії] визначається так: [вага елемента розкладу] = ([можливість викладання викладачем в вказаний час] * [побажання викладання викладача для даної аудиторії в даний час] + [близькість до середини розкладу] + [вага спеціалізації вибраної аудиторії] + [вага наявності вікна у студентів]) * [кількість пар підряд в елементі розкладу]

Формула (2) – оптимізація розкладу:

Цінність [елементу розкладу] в певний [час проведення] в [аудиторії] визначається так:

[вага елемента розкладу] = [можливість викладання викладачем в вказаний час] * [побажання викладання викладача для даної аудиторії в даний час] + [вага спеціалізації вибраної аудиторії] + [вага наявності вікна у студентів].

Кроки алгоритму першого розставлення:

1. Вибрати пари для проставлення, що мають найбільше обмежень – переважно, це пари, що є спільними для декількох груп.
2. Вибрати блок спільних пар, що включає найбільшу кількість груп.
3. Вибрати найкращу аудиторію та найкращий час для проставлення пар за формулою ваги (1).
4. Поставити блок занять у вибрану аудиторію на вибраний час.
5. Якщо є ще блоки пар з обмеженнями для проставлення – повернутись до п. 2.
6. Вибрати непроставлені пари для вказаних груп, що не є спільними для декількох груп.
7. Вибрати групу для проставлення пар.
8. Вибрати пару для проставлення з наявних занять в цій групі.

9. Обрати найкращу аудиторію та час для пари за формулою (1).

10. Проставити пару в вибрану аудиторію на вибраний час.

11. Якщо ще є пари для проставлення повернутись в п. 7.

12. Якщо є ще обрані групи з непроставленими парами, то повернутись в п. 6.

13. Кінець алгоритму початкового розставлення розкладу.

Алгоритм оптимізації працює за принципом найкращого місця та переміщення за парето – вибрати найкраще місце за формулою (1) та, якщо пара не зменшує свою цінність і не зменшується цінність інших пар, переставити її на це місце, перемістивши відповідно інші пари.

Кроки алгоритму оптимізації:

1. Вибрати групу для оптимізації.

2. Вибрати набір елементів розкладу для оптимізації.

3. Вибрати елемент розкладу для оптимізації.

4. Вибрати місце, з якого і на яке найкраще розташувати елемент для збільшення цінності

розкладу за формулою (2), використовуючи принцип парето (жодна з пар, що переставиться в результаті обміну після вибору місця не повинна зменшити свою цінність).

5. Перемістити на обране місце чи обміняти з елементами на обраному місці.

6. Якщо залишилися елементи для оптимізації – перейти до п. 2.

7. Якщо ще залишилися групи для оптимізації то перейти до п. 1.

У результаті роботи алгоритму буде побудовано розклад, що відповідає наявним суб'єктивним обмеженням, вказаним як вхідні дані на момент створення алгоритму.

Висновки. Запропонований алгоритм може бути використаний для складання розкладу занять в окремому ВНЗ. Серед переваг можна зазначити можливість генерації прийнятних варіантів розкладу вже з першої ітерації. В алгоритмі передбачена можливість значного поліпшення розкладу завдяки додаванню додаткових критеріїв оцінки волі і якості розташування занять у розкладі.

Список літератури:

1. Береговых Ю.В. Алгоритм составления расписания занятий. *Искусственный интеллект*, 2009. № 2. Б2. С. 50–56.

2. Нестеренков С.Н. Планирование образовательного процесса в учреждениях высшего образования на основе сетевых моделей и генетических алгоритмов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Минск, 2016. 22 с.

3. Абухания Амер Ю.А. Модели, алгоритмы и программные средства обработки информации и принятия решений при составлении расписаний занятий на основе эволюционных методов: автореф. дисс. канд. тех. наук. Новочеркасск, 2016. 19 с.

4. Бельский А.С. Применение моделей и методов теории расписаний в задачах оптимального планирования на грузовом транспорте. *Автоматика и телемеханика*. 2014. № 1. С. 3–77.

5. Воробович О.Н. Информационная система формирования расписания занятий в высшем учебном заведении. *Вестник СибГТУ*, № 1. СибГТУ, Красноярск, 2013. С. 120–125.

6. Симоненко В.П., Симоненко С.И. Метод пошагового конструирования для составления расписания занятий в учебных заведениях. *Системні дослідження та інформаційні технології*, 2008, № 4. С. 77–85.

7. Шишканова Т.А. Алгоритм Оптимизации расписания в вузе [електронний ресурс]. *Корольовський інститут менеджменту та технологій*. – 2015. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/v/algorithm-optimizatsii-uchebnogo-raspisaniya-v-vuze>.

8. Гуляницький Л.Ф. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016. 142 с.

Kysil V.V., Drach I.V., Kysil T.M. TASK OF CREATION AND OPTIMIZATION OF LEARNING SCHEDULE THAT SUPPLEMENTS STRICT AND VOLATILE REQUIREMENTS MODEL

Nowadays modern universities have an urgent need to create a computerized system that allows you to create and optimize plans and schedules, since the quality of training of specialists in universities and especially the efficiency of use of scientific and pedagogical potential depend to some extent on the level of organization of the educational process. One of the main components of this process is the class schedule.

The schedule balances the work rhythm of teachers, so it can be seen as a factor in optimizing the use of limited teaching staff resources. Since the interests of participants in the educational process are diverse, the task of scheduling is multicriteria with many fuzzy factors and belongs to the class Np-complete. As a rule, such tasks are carried out in two stages: obtaining the optimal (in terms of the criteria used) option and its subsequent refinement by the person (the dispatcher) in order to maximize the consideration of unformalized

factors. In this paper, the solution of the first stage of the problem is proposed - the development of an algorithm for obtaining the most optimal schedule, provided that the objective and subjective requirements of the educational institution are met. As a result of the analysis of the requirements for the schedule of classes, a decision was made on the need to develop an algorithm for laying down the possibility of expanding the list of requirements for the schedule of classes, as well as the possibility of regulating the priorities of meeting individual requirements when scheduling.

The algorithm is based on the idea of evaluating the will (value) of the arrangement of classes in the schedule. Optimization occurs on the Pareto principle – until it is possible to rearrange or modify the elements so as not to diminish the value of any of them. Among the advantages of the built algorithm is the possibility of generating acceptable variants of the schedule from the first iteration. The algorithm provides the opportunity to significantly improve the schedule by adding additional criteria for evaluating the will and quality of the location of classes in the schedule.

Key words: *university schedule, volatile scheduling requirements, strict scheduling requirements, scheduling process, university scheduling process structure, schedule evaluation, schedule optimization, Pareto optimization.*