

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.91:378.145

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-1/09>

Гайтан О.М.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

АВТОМАТИЗАЦІЯ ГЕНЕРАЦІЇ РОЗКЛАДУ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ УНІВЕРСИТЕТУ

У статті розглядається питання автоматизації генерації розкладу навчального процесу університету, досліджуються системи складання розкладу, виявлені їх функціональні особливості, проаналізовані переваги та недоліки. Описано у формалізованому вигляді постановку задачі побудови розкладу, виявлено та систематизовано основні жорсткі та м'які обмеження, що накладаються на створений розклад. Запропоновано гібридний підхід до комп'ютерної генерації розкладу навчального процесу, який ґрунтується на методах мурашиної колонії (Ant colony optimization) та генетичних алгоритмах (genetic algorithms). Поєднання цих методів дозволить зменшити час збіжності алгоритму та збільшити ймовірність знаходження глобального оптимуму.

Також представлено програмну систему складання розкладу навчального процесу вищого навчального закладу, яка на основі постійних довідників (дані про кафедри, спеціальності, навчальні групи, викладачів, навчальні корпуси, аудиторний фонд), які зберігаються в sql-базі даних, та оперативної семестрової інформації (навчальні плани, штатне навантаження викладачів, календарі доступності та пріоритети учасників навчального процесу), імпортованої з xml-довідників, забезпечує можливість ручного, автоматичного та автоматизованого складання розкладу навчального процесу в університеті з використанням розглянутого методу та технології drag&drop.

Передбачена можливість ручного корегування створеного розкладу та його експорт в xml і xlsx-файли. Використання цієї системи у вищих навчальних закладах дозволить полегшити та підвищити ефективність роботи диспетчерів, які займаються складанням розкладу, та якість навчального процесу за рахунок контролю відсутності конфліктів учасників навчального процесу та максимальному врахуванню побажань учасників навчального процесу при складанні розкладу.

Ключові слова: генетичний алгоритм, комбінаторна оптимізація, метаевристика, метод мурашиних колоній, розклад, таймслот.

Постановка проблеми. Генерація розкладу навчального процесу університету є важливим складником системи забезпечення навчального процесу, оскільки від якості складеного розкладу залежить комфорт учасників навчального процесу, його якість та ефективність. Незважаючи на широке використання інформаційних технологій, у багатьох вищих навчальних закладах розклад складається вручну, а комп'ютер використовується лише для візуалізації та розповсюдження складеного таким чином розкладу. Тому задача автоматичної генерації комп'ютерного розкладу навчального процесу в університеті є актуальною.

Проблема складання розкладу навчального процесу в університеті полягає в розподілі набору занять згідно навчальних планів в межах заданої

кількості аудиторій і періодів часу (пар). Основна відмінність розкладу в університеті від середньої школи полягає в тому, що університетські курси можуть мати спільних студентів, тоді як шкільні класи – це множини учнів, які не перетинаються. Якщо два заняття мають спільних студентів, вони не можуть бути заплановані на той самий період. Крім того, необхідно передбачити можливість поділу академічних груп на підгрупи та об'єднання лекційних занять у потоки.

В проблемі складання розкладу університету важливу роль відіграє наявність аудиторій (їх розмір, тип і обладнання, належність до відповідної кафедри), тоді як в середній школі цим нехтують, оскільки можна припустити, що кожен клас має свій кабінет, а окремі вимоги висуваються лише

до занять з іноземної мови, інформатики, хімії та фізкультури.

Основна мета статті полягає в розробленні гібридного методу автоматичної генерації розкладу навчального процесу та побудові програмної системи на її основі.

Об'єкт дослідження – методи та системи автоматичного складання розкладу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі автоматизованої генерації розкладу навчального процесу протягом останніх десятиліть приділяється значна увага.

Публікації з цього питання можна поділити на декілька категорій:

– *Формалізація предметної області.*

В [1] розглянуто математичну постановку задачі складання розкладу занять у ВНЗ в умовах розбіжності вимог і побажань викладачів і студентів, введено поняття «віртуальних та узагальнених груп і підгруп», проаналізовано жорсткі і нежорсткі обмеження в задачі складання розкладу. Робота [2] присвячена стандартизації даних для складання розкладу в навчальних закладах. Автори описують формат представлення даних в частині опису навчального плану і розкладу занять на основі XML-технологій.

– *Аналіз існуючих та розробка нових алгоритмів та методів складання розкладу.*

В роботі [3] проведено огляд методів складання розкладу ВНЗ, проаналізовані їхні переваги та недоліки. Опис основних методів, які використовуються для розв'язання цієї задачі, також наведено в [4]. Для автоматичного складання широко використовуються як класичні методи (лінійне цілочисельне програмування, метод розфарбовування графу, метод імітаційного моделювання), так і метаевристичні методи.

Оскільки цю задачу можна віднести до класу NP-важких задач зі значною кількістю обмежень і складністю побудови математичної моделі, то

використання класичних методів обмежене. Тому натеper для розв'язання задачі складання розкладу ВНЗ дуже поширене застосування метаевристичних методів. Застосовують такі методи як імітацію відпалу, генетичні алгоритми, метод мурашиних колоній тощо.

Метаевристичні методи зазвичай мають дві важливі особливості:

– в результаті їх роботи послідовно будуються кілька розв'язків;

– побудова кожного нового рішення ґрунтується на накопичених знаннях про якість попередніх отриманих рішень.

Класифікація основних метаевристичних методів, які застосовуються при автоматичному складанні розкладів, наведена на Рис. 1.

Метаевристичні методи починають з одного або декількох початкових розв'язків і використовують стратегії пошуку, за допомогою яких намагаються уникнути локальних оптимумів. Ці алгоритми пошуку можуть забезпечувати високоякісні рішення, але часто мають значну обчислювальну вартість. Класичні методи здебільшого використовують ітераційну техніку неперервної оптимізації, тому можливе зациклення в локальному оптимумі. Для пошуку глобального оптимуму доцільно використовувати еволюційні алгоритми.

В роботі [4] розроблено алгоритм побудови розкладу для дистанційного навчання на основі генетичного алгоритму, реалізованого в якості підсистеми для системи дистанційного навчання «Віртуальний Університет». Генетичний алгоритм для побудови розкладу також розглядається в роботі [14] для побудови розкладу іспитів. При цьому особлива увага приділяється послідовності іспитів.

В роботі [5] запропоновано новий варіант алгоритму імітації відпалу, який називається FastSA, для автоматичної побудови розкладу іспитів у ВНЗ. В FastSA кожен іспит, обраний для плану-

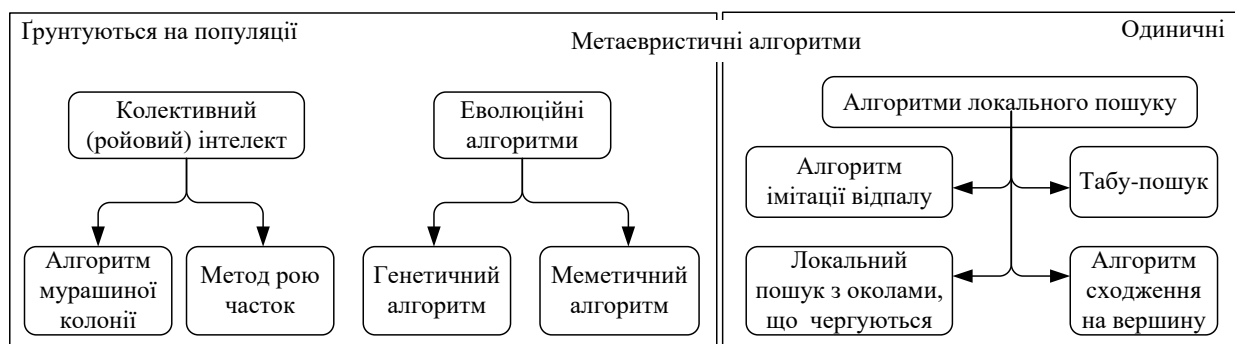


Рис. 1. Класифікація основних метаевристичних методів

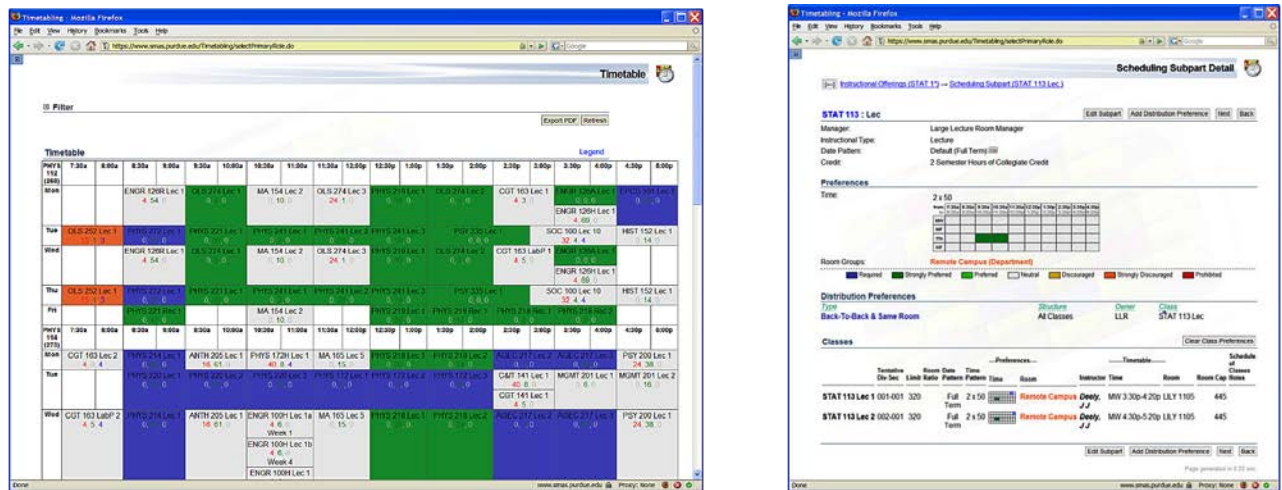


Рис. 2. Екранні форми системи UniTime

вання, переміщається (і такий рух оцінюється) лише в тому випадку, якщо цей іспит мав якісь прийняті рухи на попередньому відрізку температури. Сформовано 10 температурних діапазонів з рівною кількістю оцінювань в кожному з них. Емпірично було помічено, що якщо іспит мав нульові прийняті рухи в попередньому діапазоні температури, то, ймовірно, в майбутньому буде мало або не буде зовсім прийнятих рухів, оскільки він кристалізується. Отже, рух всіх іспитів, закріплених таким чином, більше не оцінюються, що забезпечує меншу кількість оцінювань порівняно зі стандартним алгоритмом імітації відпалу. Для побудови початкового рішення використовується евристика на основі ступеня насичення, поєднана зі статистикою на основі конфліктів, щоб уникнути зациклення.

В [6] розглядається побудова нейронної мережі для розв'язання цієї задачі:

– *Аналіз існуючих та розробка нових програмних засобів генерації комп'ютерного розкладу: технології, які використовуються, та їх програмна реалізація [7–11].*

1. Комплексна система складання університетського розкладу UniTime [7], розроблена зусиллями групи викладачів, студентів і співробітників університетів Північної Америки та Європи.

UniTime підтримує складання розкладів курсів та іспитів, управління змінами в цих розкладах, спільне використання аудиторій з іншими заходами і розподіл студентів за окремими курсами. Це розподілена система, яка дозволяє декільком відповідальним особам координувати зусилля зі створення і зміни розкладу, що відповідає їхнім організаційним потребам, мінімізуючи конфлікти в ході роботи.



Рис. 3. Структура системи UniTime

Систему можна використовувати окремо для створення і ведення розкладу занять і/або іспитів або для взаємодії з існуючою інформаційною системою ВНЗ. Дані для розкладу можуть вводитися безпосередньо в системі або імпортуватися із xml-файлів.

Алгоритм пошук в UniTime ґрунтується на ітеративному алгоритмі прямого пошуку (iterative forward search algorithm). Цей алгоритм схожий з локальними методами пошуку, але він працює з допустимими, але не обов'язково повними рішеннями. В цих рішеннях деякі заняття можуть залишатися не розміщеними. Однак всі жорсткі обмеження щодо призначених занять повинні виконуватися. Такі рішення простіші для візуалізації та більш значущі для користувачів, ніж повні, але нездійсненні рішення. Через ітеративний характер алгоритму останній може запускати, зупиняти або продовжувати обробляти будь-яке допустиме рішення – повне або неповне.

Це програмне забезпечення поширюється безкоштовно за ліцензією з відкритим вхідним кодом для забезпечення можливості використання іншими коледжами та університетами, а також для сторонніх дослідників, які захочуть внести вклад у поточні дослідження в цій області. Недоліком цієї системи є орієнтація на англомовні країни.

2. Система Галактика: Розклад навчальних занять [8, 9].

Система Галактика: Розклад навчальних занять призначена для автоматизації процесу складання розкладів навчальних занять в освітніх установах вищої та середньої професійної освіти. Система може використовуватися як самостійний додаток, так і в комплексі з іншими системами, наприклад із Галактикою ERP (Галактика Управління Вузом). Дані для розкладу можуть вводитися безпосередньо в системі або імпортуватися із зовнішніх систем у xml та excel-файлах.

«Галактика» автоматизує процес складання розкладу з огляду на множину обов'язкових, умовно обов'язкових і бажаних умов, зокрема облаштування аудиторій під окремі дисципліни, приналежність до одного або різних навчальних корпусів, завантаженість викладачів, формування зведених груп студентів. Важливим інструментом системи є можливість планування порядку вивчення академічних предметів. Ця опція включає графік вивчення дисциплін протягом тижня і технологічну карту з послідовністю їх проходження.

Система розкладу навчальних занять дозволяє паралельно вести кілька розкладів по різних корпусах, днях тижня, групах; контролювати зв'язок вільних аудиторій, зокрема спеціально обладнаних, із предметами, видами робіт, кафедрами, факультетами; налаштовувати пріоритети використання ресурсів; враховувати віддаленість корпусів, їх пріоритетність; підтримувати різні



Рис. 4. Структура системи системи Галактика: Розклад навчальних занять

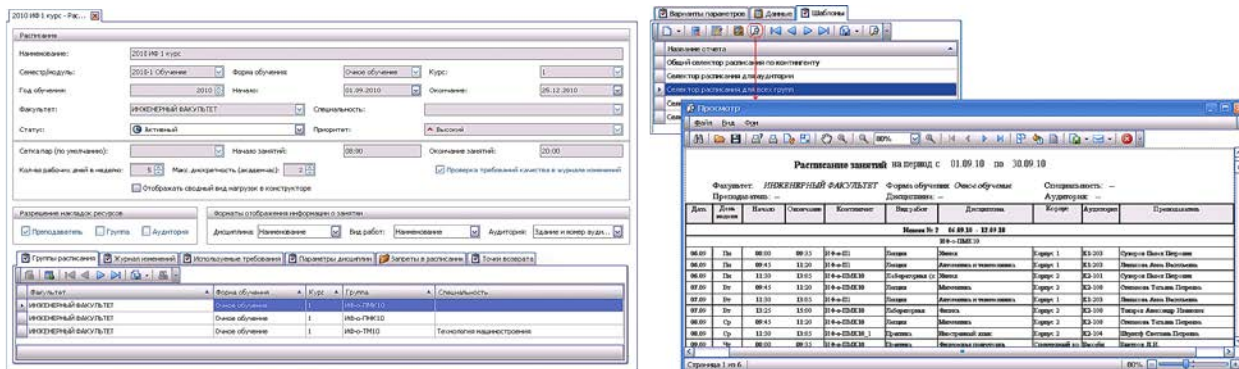


Рис. 5. Екранні форми системи Галактика: Розклад навчальних занять

групи студентів (потік, підгрупа, зведена група), контролювати їх переміщення при формуванні розкладу, щоб заняття не дублювалися і не перетиналися; використовувати чотири десятки показників ефективності розкладу.

На відміну від попереднього рішення, головна мета системи Галактика – системність рішень, спроба уникнути клаптикової автоматизації, коли для кожної критичної області, в тому числі і для складання розкладу, застосовується окрема система. Така система орієнтована на російськомовну аудиторію і використовується переважно в російських ВНЗ. Вартість ліцензії – індивідуальна для кожного ВНЗ.

3. Програма «1С: Автоматизированное составление расписания. Университет» [10].

Продукт призначений для автоматизованого складання розкладів, управління ними під час навчального процесу і оперативного управління приміщеннями. З його допомогою складати розклад можна в автоматичному, ручному і змішаному режимах, а також в режимах вибірки по приміщеннях, по групах, по викладачах з урахуванням обмежень і умов. При цьому можна побудувати як допустимий розклад, так і оптимізований, в якому зменшено кількість вікон або кількість використаних приміщень.

Система розкладу навчальних занять дозволяє ручну модифікацію розкладу перетягуванням drag&drop; складання кількох розкладів і вибір кращого; консолідацію розкладів і оптимізацію за одним з критеріїв; враховувати побажання і можливості викладачів, груп студентів, приміщень; перевіряти на допустимість при складанні розкладу (за показниками: тип приміщення / тип заняття, площа приміщення / кількість студентів у групі); обирати довільну періодичність розкладу; вести облік паралельних занять, розбиття на під-

групи і потоки лекцій; регулювати максимально допустиму кількість занять в день для групи студентів або викладача при складанні розкладу; вести облік змін; оперативно резервувати приміщення.

Для автоматичної генерації розкладу навчального процесу така програмна система використовує алгоритм розв'язання задачі, запропонований співробітниками лабораторії № 68 «Теорії розкладів і дискретної оптимізації» Інституту проблем управління ім. В.А. Трапезникова РАН. Система орієнтована на російськомовну аудиторію і використовується здебільшого в російських ВНЗ. Крім того, компанія-постачальник ERP-систем «1С» підпадає під дію економічних санкцій згідно Указу Президента України № 133/2017. Вартість ліцензії – 70 000 руб.

4. Програма «Ректор-ВУЗ» [11].

Розклад занять можна складати в автоматичному, ручному або змішаному режимах. При складанні розкладу в автоматичному режимі програма враховує всі сформульовані вимоги до розкладу. При складанні розкладу в ручному режимі програма підказує можливі варіанти розстановки занять обраного викладача, можливі варіанти заповнення порожніх клітин у розкладі групи, стежить за кількістю місць в аудиторіях. Розклад занять груп і викладачів можна зберегти у форматах Microsoft Word, Excel або HTML. Така система використовується здебільшого в російських ВНЗ, але має переклад на українську мову.

Серед розглянутих систем програма «Ректор-ВУЗ» має найменший функціонал, оскільки не забезпечує врахування паралельних занять, поділу на підгрупи при складанні розкладу, оперативного резервування приміщень, врахування побажань викладачів і студентських груп тощо. Вартість ліцензії – 12 000 руб. на рік (оренда на

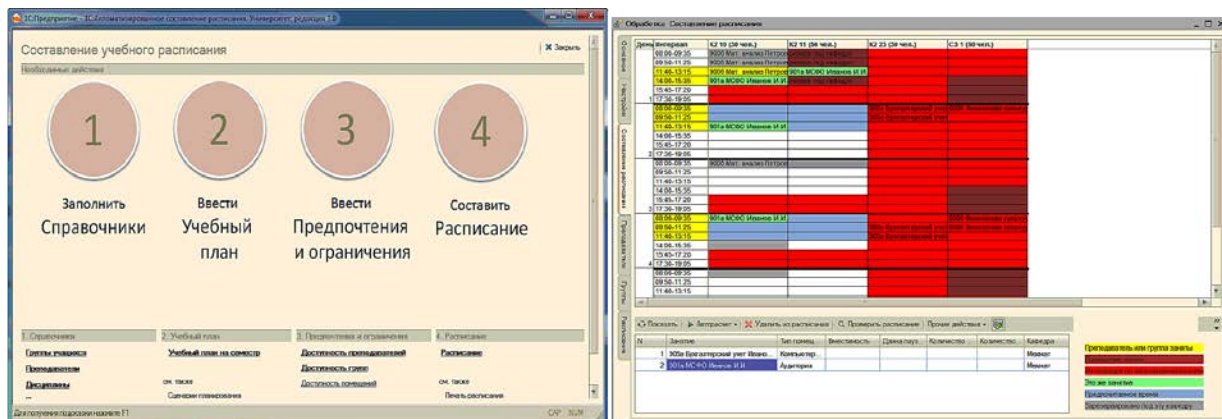


Рис. 6. Екранні форми системи

3 комп'ютери). Порівняльний аналіз функціональних можливостей систем «ІС: Автоматизоване складання розкладів. Університет», «Ректор-ВНЗ» та «Галактика» наведено у [16].

Постановка завдання. Задачу генерації розкладу навчального процесу у формалізованому вигляді можна представити таким чином:

У семестрі необхідно прочитати n навчальних дисциплін S_1, S_2, \dots, S_n : для кожного $i, i = \overline{1..n}$ дисципліна S_i складається з lec_i лекцій, $pract_i$ практичних занять і семінарів й lab_i лабораторних робіт. Заняття s проводиться визначеним викладачем pr_j . Є gr навчальних планів G_1, G_2, \dots, G_{gr} , що є набором навчальних дисциплін, які читають групі студентів G_{rk} . Це означає, що дисципліни в $G_{jk}, k = \overline{1..gr}$ повинні бути рознесені в часі. ts_max – кількість навчальних періодів (пар), r_max_k – максимальна кількість занять, яку можна запланувати в період t_k (кількість аудиторій, доступних у період t_k).

Необхідно розподілити заняття за всіма курсами в межах певної кількості аудиторій і періодів часу, тобто знайти таке $s_{jr}^{ijk} (i = \overline{1..d}, j = \overline{1..pr}, k = \overline{1..gr}, t = \overline{1..ts}, r = \overline{1..r_max})$, що

$$\forall i = \overline{1..d} \sum \{s_{jr}^{ijk} \mid j \in Pr, k \in Gr, t \in Ts, r \in R\} = lec_i + pract_i + lab_i$$

– розподіл всіх занять;

$$\forall t = \overline{1..ts_max} \sum \{s_{jr}^{ijk} \mid i \in D, j \in Pr, k \in Gr, t \in Ts, r \in R\} \leq r_max$$

– використання обмеженого аудиторного фонду;

$$\forall t = \overline{1..ts_max} \forall r = \overline{1..r_max} \sum \{s_{jr}^{ijk} \mid i \in D, j \in Pr, k \in Gr, t \in Ts\} \leq 1$$

– запобігання накладкам по аудиторіях;

$$\forall t = \overline{1..ts_max} \forall k = \overline{1..gr} \sum \{s_{jr}^{ijk} \mid i \in D, i \in G_k, j \in Pr, t \in Ts, r \in R\} \leq 1$$

– запобігання накладкам по групах;

$$\forall t = \overline{1..ts_max} \forall j = \overline{1..pr} \sum \{s_{jr}^{ijk} \mid i \in D, k \in Gr, t \in Ts, r \in R\} \leq 1$$

– запобігання накладкам по викладачах;

$$\forall i = \overline{1..d} \forall k = \overline{1..ts} s_{ijk} \in \{0,1\}$$

$$s_{jr}^{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } d_i \text{ призначено на пару } t, \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

Загальна класифікація вимог до розкладу в університеті наведена на Рис. 7.

Виклад основного матеріалу дослідження. *Методи, які використовуються.* Один із ефективних метаевристичних методів, які застосовують для розв'язання цієї задачі, – метод мурашиної колонії.

Метод мурашиної колонії – це ймовірна техніка розв'язання обчислювальних задач, яка може бути зведена до пошуку кращих шляхів за допомогою графів із використанням штучних мурах, які наслідують поведінку колонії природних мурах. Цей метод належить до класу ітеративних алгоритмів і ґрунтується на ідеї послідовного наближення до оптимального розв'язку [12].

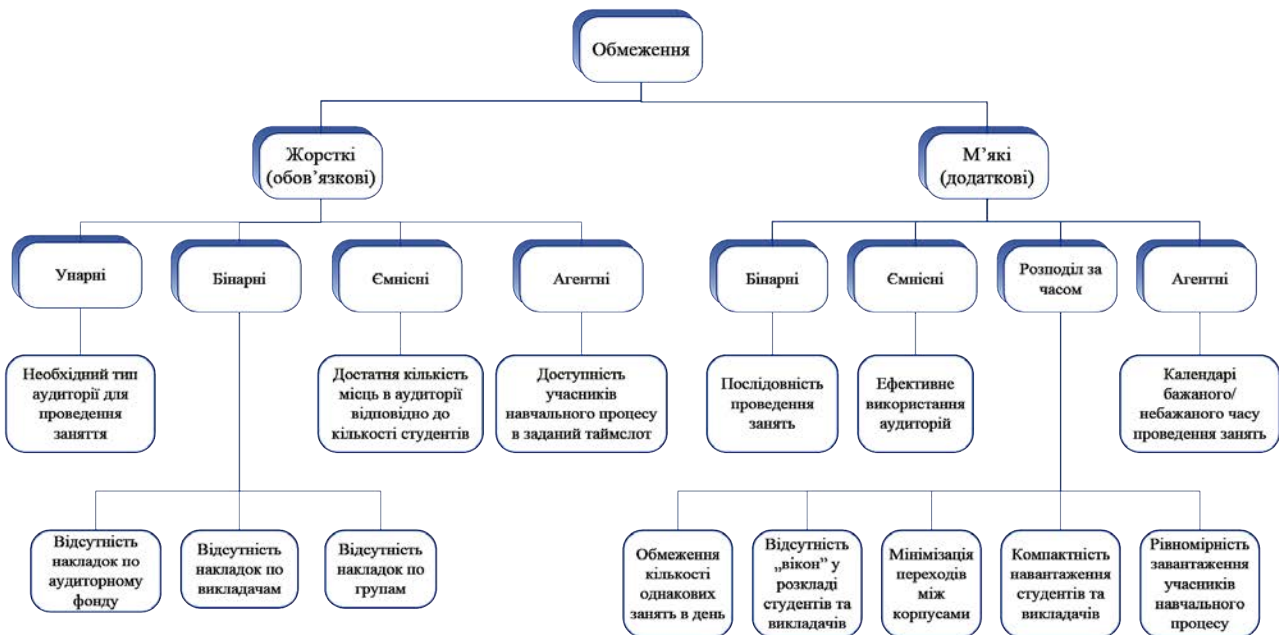


Рис. 7. Загальна класифікація обмежень до розкладу навчального процесу

Поеднаємо такий метод із генетичним алгоритмом. Використання генетичного алгоритму дозволяє зменшити час роботи алгоритму та збільшити ймовірність потрапляння в глобальний оптимум. Схема роботи алгоритму зображена на Рис. 8.

Робота системи. Основні користувачі системи автоматизованої генерації розкладу – посадові особи навчально-методичних підрозділів вищих навчальних закладів, відповідальні за формування розкладу. Для доступу до інформації, яка зберігається в системі, та для розмежування прав доступу до функціональності необхідно пройти авторизацію.

Робота програмної системи автоматизованого складання розкладу навчального процесу складається з таких етапів:

На початку роботи з системою необхідно ввести довідкову інформацію, яка необхідна при створенні розкладу. Існує два типи довідників: постійна інформація, яка може потребувати незначного редагування, та оперативна семестрова інформація. Постійні дані в системі зберігаються в sql-базі даних, доступ до якої реалізується за допомогою sql-запитів. Схема бази даних системи наведена на Рис. 10.

Створення та редагування постійних довідників може здійснюватися вручну або за допомогою функції імпорту з зовнішніх xml-файлів. Оперативна семестрова інформація завантажується лише за допомогою імпорту з зовнішніх xml-файлів. Можливі такі опції імпорту: імпорт – в цьому випадку відбувається видалення і повторне створення довідника з додаванням імпортованих даних; імпорт з оновленням – відбувається оновлення вже наявних і додавання відсутніх у довідниках даних;

Складання розкладу відбувається в автоматичному, ручному або змішаному режимах. При ручному режимі складання розкладу вибирається відповідне заняття із дерева занять і методом Drag&Drop переноситься в сітку розкладу. При цьому система підсвічує доступні та заборонені таймслоти. Розмістити конфліктуючі заняття в один час або одній аудиторії не можливо. Червоним кольором виділяються заборонені таймслоти, зеленим – такі самі заняття, вже розміщені в сітці розкладу, сірим – не рекомендовані, блакитним – рекомендовані варіанти. Рекомендовані та не рекомендовані варіанти розміщення визначаються типом занять, календарями завантаження учасників навчального процесу та даними про заняття, які містяться в імпортованих файлах.

Автоматична генерація виконується відповідно до розглянутого вище методу.

Висновки. В роботі розглядається побудова програмної системи для автоматизації складання розкладу навчального процесу в університеті. Використання цієї системи в університеті дозволить полегшити та підвищити ефективність роботи диспетчерів, які займаються складанням розкладу, та якість навчального процесу за рахунок контролю відсутності конфліктів учасників навчального процесу та максимального врахування побажань учасників навчального процесу при складанні розкладу.

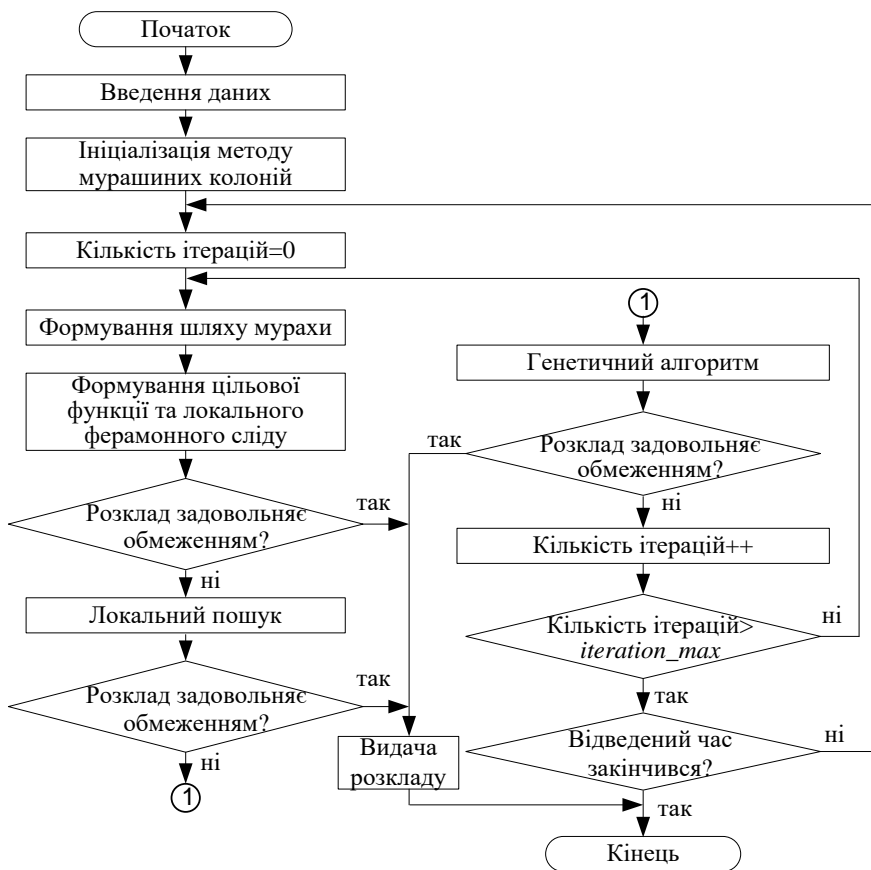


Рис. 8. Схема роботи алгоритму



Рис. 9. Загальна схема автоматизованого складання розкладу навчального процесу

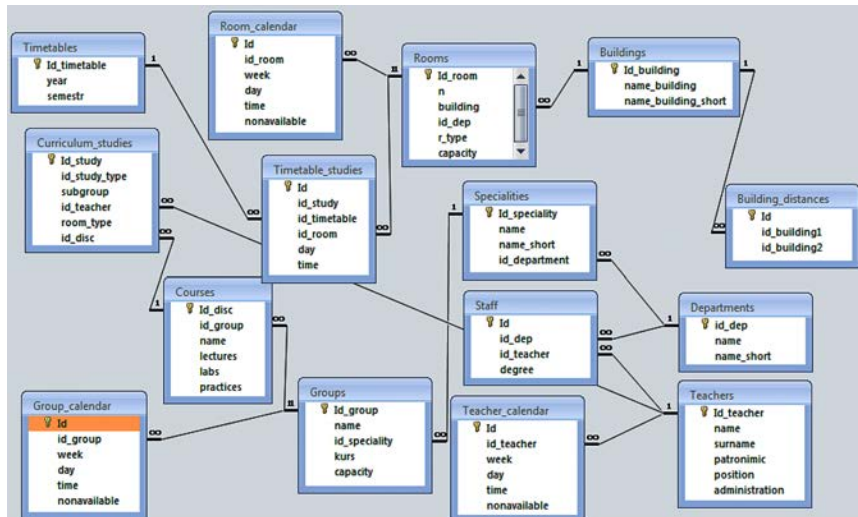


Рис. 10. Схема бази даних

а)

Дінь	Час	101-ПН	102-ПН
Понеділок			
2	08:30 - 09:50		Дискретна математика, Ляб., Діагностика П.Д., 302п
3	10:00 - 11:20	Висхідна математика, Ляб., Висхідна І.К., 302п	Висхідна І.К., 302п
4	11:30 - 13:10	Дискретна математика, Ляб., Діагностика П.Д., 302п	
5	13:20 - 14:40		
6	14:50 - 16:10		
7	16:20 - 17:40		
Вівторок			
8	08:30 - 09:50	Дискретна математика, Ляб., Діагностика П.Д., 302п	Висхідна математика, Ляб., Висхідна І.К.(І), 102п
9	10:00 - 11:20	Фізика, Ляб., Фізика А.Р., 100п	Фізика, Ляб., Фізика А.Р., 100п
10	11:30 - 13:10	Програмування, Ляб., Гіаково Р.В., 102п	Семінар Д.К.(І), 102п
11	13:20 - 14:40		
12	14:50 - 16:10		
13	16:20 - 17:40		
Середа			
14	08:30 - 09:50		Програмування, Ляб., Гіаково Р.В., 102п
15	10:00 - 11:20	Висхідна математика, Ляб., Висхідна І.К., 302п	Висхідна математика, Ляб., Висхідна І.К., 302п
16	11:30 - 13:10		Фізика(І), 100п
17	13:20 - 14:40		
18	14:50 - 16:10		
19	16:20 - 17:40		
Четвер			
20	08:30 - 09:50	Дискретна математика, Ляб., Діагностика П.Д., 302п	Фізика, Ляб., Фізика М.К., 410п
21	10:00 - 11:20	Висхідна І.К.(І), 102п; Висхідна математика, Ляб., Семінар Д.К.(І), 102п	Дискретна математика, Ляб., Діагностика П.Д., 302п
22	11:30 - 13:10		
23	13:20 - 14:40		
24	14:50 - 16:10		
25	16:20 - 17:40		
П'ятниця			
26	08:30 - 09:50	Фізика, Ляб., Фізика М.К., 410п	Дискретна математика, Ляб., Діагностика П.Д., 302п
27	10:00 - 11:20	Програмування, Ляб., Гіаково Р.В., 100п	Програмування, Ляб., Гіаково Р.В., 100п

в)

Рис. 11. Екранні форми системи: а) редагування даних про аудиторії; б) генерація розкладу в ручному режимі; в) результат автоматичної генерації розкладу

Список літератури:

1. Бурнасов П.В. Математическая постановка задачи составления расписания занятий. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2014. № 4(87). С. 12–18.
2. Бульонков М.А., Емельянов П.Г., Пак Е.В. К стандартизации данных для составления расписания в учебных заведениях. *Открытое образование*. 2010. № 3. С. 45–57.
3. Дворянкин А.М., Чалышев В.С. Обзор методов составления расписания вузов. *Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»*, 2011. Вып. 11. № 9. С. 110–113.
4. Томашевський В.М., Новіков Ю.Л., Камінська П.А. Складання розкладів занять у дистанційних системах навчання. *Вісник НТУУ КПІ. Серія «Інформатика, управління та обчислювальна техніка»*, 2011. Вип. 52. С. 118–130.
5. Leite Nuno, Melicio Fernando, Rosa Agostinho. A fast simulated annealing algorithm for the examination timetabling problem. *Expert Systems with Applications*. 2018. № 122.
6. Гусейн А. Разработка механизма интеллектуального управления отношениями «студент-преподаватель» в пространстве виртуального образования с применением нейронных сетей. *Open education*. V. 22. № 5. 2018. P. 94–103.
7. UniTime | University Timetabling. URL: www.unitime.org.
8. Система для составления расписаний в вузах. URL: <https://ru.osvita.ua/vnz/53319/>.
9. Галактика: Расписание учебных занятий. URL: http://galaktika.ua/manuals/ruz/index.html?ruz_raspisanie.htm (дата звернення: 01.03.2020).
10. 1С: Автоматизированное составление расписания. Университет. URL: https://solutions.1c.ru/catalog/asp_univer (дата звернення: 05.03.2020).
11. Расписание занятий: «Ректор-ВУЗ». URL: <http://rector.spb.ru/raspisanie-vuz-4u.php> (дата звернення: 01.03.2020).
12. Blum C. Ant colony optimization: Introduction and recent trends // *Physics of Life Reviews* 2, 2005. С. 353–373.
13. Бойко О.М. Еволюційна технологія розв'язування задачі складання розкладів навчальних занять. *Штучний інтелект*. 2006. № 3. С. 341–348.
14. Астахова И.Ф., Фирас А.М. Составление расписания учебных занятий на основе генетического алгоритма. *Вестник ВГУ, Серия «Системный анализ и информационные технологии»*, 2013. № 2. С. 93–99.
15. Thepphakorn T., Pongcharoen P., Hicks C. An ant colony based timetabling tool. *International Journal of Production Economics*. 2014, № 149(3). С. 131–144.
16. Юрчак І.Ю., Москович Т.Р. Дослідження генетичних алгоритмів та застосування їх в автоматизованій системі розподілу навантаження для викладачів і студентів. URL: <http://eom.lp.edu.ua/sntk/doc/ksm2018/moskovytch.pdf>.

Haitan O.M. THE UNIVERSITY COURSE TIMETABLING AUTOMATION

The issue of automating of the university course timetabling is considered in the paper; the existing timetabling systems are explored, their functional features, as well as benefits and disadvantages are analyzed. The problem statement of the timetabling problem is formalized, the basic hard and soft constraints that imposed on the created schedule are identified and systematized. It is proposed a hybrid approach for computer timetabling based on the ant colony optimization and genetic algorithms. Combining of these methods will reduce the convergence time of the algorithm and increase the probability of a global optimum finding.

It is also described a software for university course timetabling, which based on constant data stored in a sql database (data of departments, specialties, teaching groups, teachers, teaching buildings, teaching rooms) and operational semester information imported from xml files (curricula, staff load, availability calendars, and priorities of the learning process participants), provides the possibility of manual, automatic and automated course timetabling using the described method and drag&drop technology.

It is possible to edit manually the created schedule and export it to xml and xlsx files. The use of this system in higher education institutions will facilitate and increase the efficiency of timetabling dispatchers and the educational process quality by controlling the absence of conflicts for the educational process participants and maximally taking into account their wishes during timetabling.

Key words: genetic algorithm, combinatorial optimization, ant colony method, schedule, metaheuristics, timeslot.