

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

СПККО Олена Миколаївна

УДК 004.942:378.145

**МОДЕЛІ ТА ЕВОЛЮЦІЙНИЙ МЕТОД СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ
ЗАНЯТЬ У ВИЩОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ**

05.13.06 – інформаційні технології

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Черкаському державному технологічному університеті, м. Черкаси

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Снитюк Віталій Євгенович,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,
завідувач кафедри інтелектуальних та інформаційних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Томашевський Валентин Миколайович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
професор кафедри автоматизованих систем обробки
інформації та управління;

кандидат технічних наук, доцент
Олецький Олексій Віталійович
Національний університет
«Києво-Могилянська академія»,
доцент кафедри мультимедійних систем

Захист відбудеться 30 червня 2016 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.001.51 Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 03022, м. Київ, вул. Ломоносова, 81, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці ім. М. Максимовича Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 58.

Автореферат розісланий «30» травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Н.В. Оберемок

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ефективність функціонування сучасного виробництва значною мірою визначається рішеннями, прийнятими на етапах календарного планування та оперативного управління. Поряд з поліпшенням якості планових рішень все більш жорсткими стають вимоги до скорочення термінів виробництва, підвищення оперативності та гнучкості управління. Сьогодні у створенні автоматизованих систем управління виробництвом активно використовуються нові для вітчизняної практики технології: управління проектами, управління ресурсами, промислова логістика тощо. Їх спільною метою є оптимізація і використання наявних матеріальних ресурсів та кадрового потенціалу шляхом складання різного роду розкладів. Особливе місце серед них займає задача складання розкладу занять у навчальних закладах. Якість підготовки фахівців у вищих навчальних закладах і, особливо, ефективність використання науково-педагогічного потенціалу залежать певною 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 трудових ресурсів – викладацького складу. Таким чином, вирішення проблеми розробки оптимальних розкладів занять у вищих навчальних закладах має ще і очевидну економічну складову.

Теорія розкладів є добре вивченою і описаною в багатьох роботах, починаючи з 60-х років минулого сторіччя, такими відомими вченими як Р.В. Конвей, Е.Г. Кофман, В.Л. Максвел, Л.В. Міллер; зокрема, проблемою складання розкладів навчальних занять займалися такі вчені як Д. де Верра, М.М. Глибовець, Б.А. Лагоша, А.В. Петропавловська, К.Г. Самофалов, В.П. Симоненко, Т. Стрехлейн, В.М. Томашевський, Г. Шмідт та інші.

Свого часу був сформульований клас NP-повних задач теорії розкладів, для розв'язання яких не знайдено ефективних алгоритмів. Саме до таких задач можна віднести більшість реальних задач виробничого планування, зокрема і задачу складання розкладу навчальних занять. У порівнянні з серединою минулого століття в останні роки з'явилась значна кількість програмних і апаратних засобів (мови програмування високого рівня, сучасні персональні комп'ютери), які розширюють можливості розробників методів розв'язання задач теорії розкладів.

Проведений аналіз сучасного стану досліджень у теорії розкладів вказує на наявність ряду нерозв'язаних задач. Серед них основними є такі:

- здійснено формальні постановки задач й описані моделі і методи, що враховують різні обмеження, в той же час безпосереднє розв'язання практичних задач за допомогою цих моделей виявляється неможливим як внаслідок їх великої розмірності та NP-складності, так і тому, що в практичних задачах необхідно враховувати не лише формальні, але і якісні критерії та обмеження;
- проблеми розв'язання слабко структурованих задач на даний час розглядаються в межах окремих наукових дисциплін (починаючи від системного аналізу і теорії систем і закінчуючи теорією оптимізації), що веде до розрізненості досліджень, відсутності єдиного підходу;

- не вивчено проблеми залежності якості отриманих розв’язків від структурних характеристик та рівня визначеності середовища;
- недостатньо досліджено проблеми відображення системи переваг зацікавлених осіб та їх врахування в цільових функціях.

Оптимізація навчального процесу пов’язана з важливістю розв’язання вищевказаних задач, що вказує на актуальність розробки еволюційних технологій складання розкладів занять на основі суб’єктивних переваг.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконане відповідно до плану науково-дослідної роботи на тему: «Мультиагентні та еволюційні технології розв’язання високорозмірних задач» (номер державної реєстрації 0115U005344), що виконувалась у Черкаському державному технологічному університеті.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності процесу диспетчеризації занять у вищих навчальних закладах шляхом розробки моделей і методів формування розкладу навчальних занять на основі суб’єктивних переваг та еволюційних технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв’язати наступні задачі:

- провести аналіз існуючих принципів, моделей, методів та програмно-алгоритмічного забезпечення для розв’язання задачі складання розкладу;
- здійснити формалізовану постановку та розв’язати задачу складання розкладу занять для підвищення ефективності освітнього процесу;
- побудувати математичні моделі, які дозволять визначати якість розкладу навчальних занять;
- розробити структуру потенційних розв’язків задачі складання розкладу занять;
- розробити еволюційний метод оптимізації цільової функції задачі складання розкладу занять;
- виконати верифікацію розроблених моделей та методу і сформувати структурні та функціональні елементи інформаційно-аналітичної системи.

Об’єктом дослідження є процеси диспетчеризації занять у вищих навчальних закладах.

Предмет дослідження – моделі, методи та інструментальні засоби формування розкладу занять у вищих навчальних закладах.

Методи дослідження. Аналіз технологій складання розкладів здійснено на основі системного підходу. Розробка моделей та методу складання розкладу навчальних занять виконані на основі технологій еволюційного моделювання, методу аналізу ієрархій та нечіткої логіки. При розробці структури та формуванні елементної бази інформаційно-аналітичної системи складання розкладу занять використані технології об’єктно-орієнтованого проектування.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційному дослідженні виконано формалізацію і розв’язано науково-технічну задачу розробки моделей, методів та інструментальних засобів складання розкладу навчальних занять у вищих навчальних закладах на основі еволюційного моделювання та нечітких експертних висновків, що дозволило одержати теоретичні та практичні результати, які характеризують новизну дослідження та особистий внесок автора, зокрема:

вперше:

- побудовано математичні моделі для формування розкладу занять, в яких, на відміну від існуючих, диференційовано враховані вимоги суб'єктів освітнього процесу та штрафи за їх невиконання, що дозволило підвищити ефективність процесу диспетчеризації занять у вищому навчальному закладі;
- розроблено матрично-еволюційний метод оптимізації цільової функції формування розкладу занять, у якому забезпечено неперервність потенційних розв'язків-розкладів, що зменшує час їх побудови та верифікації;

удосконалено:

- цільові функції для розв'язання задачі складання розкладу навчальних занять шляхом об'єктивізації процесу визначення вагових коефіцієнтів переваг суб'єктів освітнього процесу, що дозволило здійснювати порівняльний аналіз ефективності розкладів;

дістали подальшого розвитку:

- методи еволюційної спрямованої оптимізації за рахунок їх адаптації до розв'язання дискретної задачі формування розкладів занять у вищих навчальних закладах, що дозволило більш повно задовольнити вимоги суб'єктів освітнього процесу та збільшити швидкість пошуку прийняттого (квазіоптимального) розкладу.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані автором теоретичні результати доведені до конкретних методик і алгоритмів, розроблено автоматизовану систему складання розкладу навчальних занять. Основні положення, одержані в дисертації, спрямовані на подальший розвиток технологій складання розкладів навчальних занять. Розроблені моделі та методи складають методологічну базу для оптимізації освітнього процесу шляхом формування покращених розкладів навчальних занять. Результати дисертаційної роботи впроваджені або використані в Черкаському державному технологічному університеті, Черкаському інституті пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України та Черкаському національному університеті імені Богдана Хмельницького.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать, зокрема, у статті [5] – структурні елементи цільової функції, у роботах [6, 7, 20-24] – матрично-еволюційний метод з використанням штрафної функції для оптимізації цільової функції, а також еволюційний метод формування оптимального розкладу, що базується на розробці та використанні цільової функції, в основі якої лежать врахування вимог викладачів і студентів.

Апробація результатів дисертації. Основні висновки, положення і результати дисертації доповідались і обговорювались на:

- IV Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Шевченківська весна” (м. Київ, 2006 р.);
- VIII Міжнародній конференції „Інтелектуальний аналіз інформації” (м. Київ, 2007 р.);
- VI, VII, VIII Всеукраїнських конференціях молодих науковців “Інформаційні технології в освіті, науці й техніці” (м. Черкаси, 2008 р., 2010 р., 2012 р.);

- XVI Всеукраїнській науковій конференції „Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики ” (м. Львів, 2009 р.);
- IV Міжнародній науково-технічній конференції “Комп’ютерні науки та інформаційні технології” (м. Львів, 2009 р.);
- XII, XVI Міжнародних науково-технічних конференціях System Analysis and Information Technologies (м. Київ, 2010 р., 2014 р.);
- V, VI, VII Міжнародних школах-семінарах «Теорія прийняття рішень» (м. Ужгород, 2010 р., 2012 р., 2014 р.);
- I, II Міжнародних науково-технічних конференціях «Обчислювальний інтелект» (м. Черкаси, 2011 р., 2013 р.);
- IX Міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та імітаційне моделювання систем» (м. Київ-с. Жукін, 2014 р.);
- XX Міжнародній конференції «Knowledge-Dialogue-Solution» (м. Київ, 2014 р.);
- II Міжнародній конференції «Інформаційні технології та взаємодії» (м. Київ, 2015 р.).

Публікації. Результати дисертації викладені в 24 публікаціях, серед яких 7 статей опубліковано у фахових виданнях, затверджених ДАК України, з них 2 – у наукових фахових іноземних виданнях, а також 17 тез доповідей у матеріалах конференцій та наукових семінарів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, списку використаних джерел (145 найменувань), 3 додатків. Основний текст роботи викладено на 120 сторінках. Робота включає 14 рисунків, 15 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, формулюються мета та задачі дослідження, відзначаються наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, показано зв’язок теми дисертаційної роботи з науковими темами, надано відомості про апробацію результатів і публікацію матеріалів дисертації.

У першому розділі показано, що проблема підвищення якості підготовки фахівців у вищих навчальних закладах обумовлює необхідність постійного вдосконалення організації навчального процесу, зокрема, підвищення якості розв’язків основних задач, що регламентують підготовку фахівців: складання навчальних планів та формування розкладу занять. Це зумовлює необхідність розробки нових математичних моделей і методів розв’язання задачі формування ефективних розкладів навчальних занять.

Визначено аспекти навчальної діяльності, що пов’язані з автоматизацією навчального процесу. Виконано аналіз наукових джерел, відомих програмних продуктів для створення розкладів навчальних занять, а також представлені основні парадигми методів складання розкладу, встановлені особливості їх реалізації, а також класифіковано переваги та недоліки.

Побудовано структурно-логічну схему дослідження, в основу якої покладено науково-практичні методології системного підходу та системного аналізу.

У другому розділі наведено методика дослідження, виконано формалізовані постановки задач дослідження. Визначено основні принципи побудови цільової функції.

На відміну від досліджень, які проводились раніше, в роботі пропонується вважати критеріальною функцією визначення оптимальності розкладу його відповідність запитам студентів і викладачів. Оскільки у такому випадку присутні суб'єктивні оцінки в композиції з об'єктивними даними, то формування такої функції є слабо структурованою задачею. Здійснимо її формалізацію.

Позначимо $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ – скінченну множину можливих розкладів. Її скінченність гарантована скінченністю множини навчальних дисциплін $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, сукупності викладачів $L = \{l_1, l_2, \dots, l_k\}$, студентських груп $S = \{s_1, s_2, \dots, s_q\}$ та навчальних аудиторій $A = \{a_1, a_2, \dots, a_v\}$. Задача формування оптимального розкладу з урахуванням вищевказаного полягає у знаходженні

$$\alpha_s F_S(r) + \alpha_L F_L(r) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$r \in \Omega(P, S, L, A), \quad (2)$$

де r – потенційний розклад, $F_S(r)$ і $F_L(r)$ – цільові функції студентів і викладачів, відповідно, Ω – сукупність обмежень, які визначаються наявністю і спеціалізацією аудиторій, розподілом викладачів по дисциплінах, дисциплін по аудиторіях тощо. Вагові коефіцієнти α_s і α_L визначають вплив компонента цільової функції на загальний результат. Встановлення значень коефіцієнтів є емпіричною процедурою. Її формалізація може здійснюватись різними способами. Наведемо один з них. Вважаючи студента домінуючим суб'єктом у ВНЗ, апіорі раціонально встановити $\alpha_s = 0,6$, $\alpha_L = 0,4$ (усереднені значення результатів опитування студентів і викладачів). При подальшому коригуванні використовується таке правило: якщо відношення кількості студентів до кількості викладачів відповідає нормативному значенню, то значення коефіцієнтів не змінюються, якщо реальне відношення відрізняється від нормативного, то α_s і α_L потрібно коригувати.

Запропоновано процедуру такого коригування. Нехай N_s – кількість студентів у ВНЗ, N_L – кількість викладачів, Nom – номінальне значення відношення кількості студентів до кількості викладачів, визначене системою вищого ієрархічного рівня. Тоді, якщо виконується нерівність

$$\frac{1}{2} Nom \leq \frac{N_s}{N_L} \leq Nom, \text{ то } \alpha_s = 0,6 - \frac{1}{2} Nom \left(\frac{N_s}{N_L} - \frac{1}{2} Nom \right) \cdot 0,4, \quad (3)$$

в іншому випадку, якщо

$$Nom \leq \frac{N_s}{N_L} \leq \frac{3}{2} Nom, \text{ то } \alpha_s = 0,6 + \frac{1}{2} Nom \left(\frac{N_s}{N_L} - Nom \right) \cdot 0,3. \quad (4)$$

Одержуючи вирази (3) і (4), припускаємо, що реальне співвідношення між кількістю студентів та кількістю викладачів

$$\frac{N_s}{N_L} \in \left[\frac{1}{2} Nom, \frac{3}{2} Nom \right]. \quad (5)$$

Так, якщо нормативне значення відношення $\frac{N_s}{N_L} = 10$, то вважатимемо, що на практиці $\frac{N_s}{N_L} \in [1,5^-]$, і це відповідає дійсному стану речей. При $\frac{N_s}{N_L} > Nom$, очевидно, що кількість студентів є порівняно більшою і їх пріоритет у цільовій функції має збільшуватись. Тому, у цьому випадку $\alpha_s \in [0,6; 0,9^-]$, а $\alpha_L \in [0,1; 0,4^-]$. У протилежному випадку при $\frac{N_s}{N_L} < Nom$ вважатимемо, що $\alpha_s \in [0,2; 0,6^-]$ і $\alpha_L \in [0,4; 0,8^-]$. Таким чином, використання виразів (3)-(4) дозволить реагувати на динаміку контингенту викладачів і студентів.

Визначено аспекти формування цільової функції F_s . Очевидно, що студентів можна розглядати як певну множину, розбиту на групи по курсах і спеціальностях, які мають певні інтереси і переваги з однієї сторони, та як сукупність індивідів, кожен з яких має свої висновки щодо оптимальності розкладу та його аспектів. Крім того, існують певні нормативні вимоги, яких необхідно дотримуватись, формуючи розклад.

Оскільки студенти мають індивідуальні переваги, які у тому числі залежать від курсу та групи, то раціонально ці індивідуальні переваги звести до групових переваг шляхом визначення їх сукупності, опитування студентів та інтелектуального аналізу його результатів. Додатково, якщо існуючі вимоги є директивними та навіть незначне їх недотримання неможливе, то вважатимемо такі вимоги обмеженнями, що визначають область допустимих розкладів (розв'язків). Позначимо такі обмеження Z^d . Якщо ж існують вимоги, які можуть бути певним чином з різних причин недотриманими, то відповідні обмеження позначимо Z^b і ступінь порушення обмеження надалі врахуємо шляхом додавання (віднімання) штрафних значень.

Припустимо, що $Z^d = Z_1^d, Z_2^d, \dots, Z_u^d$, $Z^b = Z_1^b, Z_2^b, \dots, Z_w^b$, де Z_i^d – директивні вимоги, Z_j^b – вимоги, які визначаються студентами, $i = \overline{1, u}$, $j = \overline{1, w}$. Вимоги із множини Z^d є априорі відомими і визначеними директивними документами чи нормативами. Вимоги із Z^b не є заданими, їх визначення є однією з перших задач розв'язання якої потрібне для формування ефективного розкладу. Запропоновано такий спосіб. Студенти незалежно формують свої вимоги до розкладу. Далі усі вимоги вносяться до єдиного переліку. Якщо в ньому зустрічаються подібні вимоги – їх об'єднують. Якщо вимоги протилежні, то авторам пропонують дійти до узгодженого варіанту вимоги або вилучити свої вимоги взагалі. У випадку їх незгоди серед студентів проводиться голосування і та вимога, за яку проголосувала більшість, залишається у списку вимог, інша вилучається.

Таким чином, одержується несуперечлива множина вимог Z^b . Очевидно, що вимоги Z^b є різнопріоритетними для кожного студента. Для того, щоб узгодити індивідуальні переваги, кожному студенту надається можливість визначити перевагу

кожної з вимог. Для цього за методом аналізу ієрархій будують матриці попарних порівнянь, для яких знаходять максимальні власні числа та відповідні власні вектори. Нехай λ_{\max} – максимальне власне число матриці попарних порівнянь, яку одержав i -й студент, $i = \overline{1, g}$, $x^i = x_1^i, x_2^i, \dots, x_w^i$ – власний вектор, який відповідає цьому власному числу. Виконавши нормування елементів цього вектора за формулою

$$x_j^{in} = \frac{x_j^i}{\sum_{j=1}^w x_j^i}, \quad i = \overline{1, g}, \quad j = \overline{1, w}, \quad (6)$$

одержимо, що $x_j^{in} \in (0,1)$ і $\sum_{j=1}^w x_j^{in} = 1$. Тоді можна стверджувати, що значення x_j^{in} буде вказувати на пріоритет j -го критерію для i -го студента. Оскільки всі студенти є рівнозначними (рівнокомпетентними), то пріоритетність вимог для їх колективу (найчастіше, групи) визначається як середнє значення пріоритетів критеріїв для кожного студента, тобто

$$x_j = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g x_j^{in}, \quad j = \overline{1, w}. \quad (7)$$

Таким чином, для групи студентів одержано вектор пріоритетів вимог $X = (x_1, x_2, \dots, x_w)$.

Без обмеження загальності, перша частина цільової функції (1) набуде такого виду:

$$\alpha_s \cdot F_s = \alpha_s \cdot \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^w x_j^i \cdot \chi Z_{ij}^v, \quad (8)$$

де коефіцієнт α_s визначається за (3) або (4), пріоритет j -ї вимоги в i -й групі x_j^i – за формулою (7), функція χZ_{ij}^v є індикатором і записується так:

$$\chi A = \begin{cases} 1, & \text{якщо } A \text{ виконано,} \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (9)$$

де A – певна вимога.

Цільову функцію викладачів F_L запропоновано формувати таким чином. У порівнянні з процесом формування F_s зауважимо, що викладачі не мають групових переваг і врахування їх вимог необхідно здійснювати індивідуально. Нехай k – кількість викладачів, які розбиваємо на групи: завідувачі кафедр; доктори наук, професори; доктори наук, доценти; кандидати наук, доценти; кандидати наук без вченого звання; старші викладачі; асистенти. Очевидно, що на практиці потрібно розрізняти пріоритетність представників таких груп. Якщо перераховані не всі групи викладачів, то можна додати потрібні групи в перелік. Таким чином, нехай $\exists K$ груп викладачів, тобто $T = T_1, T_2, \dots, T_K$ і

$$T_1 \phi T_2 \phi \dots \phi T_K. \quad (10)$$

Водночас схема переваг (10) не дозволяє здійснювати кількісні оцінки. Тому особа, що приймає рішення, формуючи матрицю попарних порівнянь та використовуючи метод аналізу ієрархій, визначає пріоритетність викладачів, представників груп

$$y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\} \quad y_i \in (0,1), \quad \sum_{i=1}^k y_i = 1, \quad (11)$$

Якщо адекватність такої процедури викликає сумніви, то її можна об'єктивізувати на основі аналізу посадових окладів представників груп.

Кожен викладач має свої переваги для формування розкладу, причому кількість таких переваг у різних викладачів буде різною. Позначимо $Z_i^T = \{z_{i_1}^{T_j}, z_{i_2}^{T_j}, \dots, z_{i_{n_i}}^{T_j}\}$ – вектор переваг i -го викладача з j -ї групи, n_i – кількість його елементів, $j = \overline{1, K}$, $i = \overline{1, k}$. Векторам Z_i^T відповідатимуть розраховані з використанням методу, наведеного вище, значення вектора пріоритетів $D_i^j = \{d_{i_1}^j, d_{i_2}^j, \dots, d_{i_{n_i}}^j\}$, $i = \overline{1, k}$, $j = \overline{1, K}$. Тоді другий доданок цільової функції (1) буде таким:

$$\alpha_L F_L = \alpha_L \sum_{j=1}^K y_j \cdot \sum_{i=1}^k \chi_{L_i \in T_j} \cdot \sum_{l=1}^{n_i} d_{il}^j \cdot \chi_{Z_{il}^{T_j}}, \quad (12)$$

де $\chi_{L_i \in T_j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо викладач } L_i \text{ належить групі } T_j, \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$

З урахуванням (8) і (12), задача (1) набуде такого виду:

$$F(r) = \alpha_S \cdot \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{w_i} x_j^i \cdot \chi_{Z_{ij}^v} + \alpha_L \cdot \sum_{j=1}^K y_j \sum_{i=1}^M \chi_{L_i \in T_j} \sum_{l=1}^{n_i} d_{il}^j \cdot \chi_{Z_{il}^{T_j}} \rightarrow \max, \quad (13)$$

$$r \in \Omega(P, S, L, A).$$

Оскільки значення α_S , α_L , x_j^i , y_j , d_{il}^j є відомими, то максимум цільової функції залежатиме від значень функцій-індикаторів, які вказують на виконання (невиконання) вимог студентів та викладачів для того чи іншого розкладу.

При формуванні розкладу у переважній більшості випадків не вдається одержати розклад, який би влаштовував усіх суб'єктів навчального процесу, тому доцільним є використання цільової функції із штрафами. Якщо розклад складається диспетчером вручну, то обов'язково знаходиться хоча б один викладач, який вважає розклад категорично для себе неприйнятним, і диспетчер змушений вносити зміни в розклад, намагаючись задовольнити його вимоги і, звичайно ж, порушуючи переваги інших учасників навчального процесу. Штрафом у цьому випадку є витрачений час і, найчастіше, моральна шкода. Крім того, немає об'єктивного показника для порівняння якості розкладів.

Оскільки $\alpha_S > 0$, $\alpha_L > 0$ за визначенням і $F_1(*) \geq 0$, $F_2(*) \geq 0$ за побудовою, то функція $F(*)$ в найгіршому випадку може набувати нульового значення, що відповідає допустимому, але неприйнятному розкладу для кожного з викладачів і для кожної студентської групи. Якщо вважати пріоритети студентських груп і викладачів

заданими, то отримання оптимального значення F_{\max} в ідеальному випадку буде відповідати отриманню оптимальних значень $F_{1\max}$ і $F_{2\max}$. На практиці переваги груп студентів і викладачів часто є антагоністичними, тому отримання значення $F_{\max} = \alpha_S F_{1\max} + \alpha_L F_{2\max}$ є бажаним, але недосяжним орієнтиром.

Розглянемо задачу конструювання функції штрафу. Визначимо її так:

$$\varphi(F_1(r) \vee F_2(r)) = \begin{cases} 0, & r \in \Omega_2(P, R, L, A), \\ f_1^{(q)}(\bigvee_{j=1}^{w_i} x_j^i) \vee f_2^{(K)}(y_j, D, \gamma), & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (14)$$

У виразі (14) Ω_2 – область, що визначається м'якими обмеженнями, нульове значення функції штрафу відповідає випадку, коли невиконана хоча б одна з вимог студентських груп або хоча б одного викладача, D – значення, що інтегрує пріоритети вимог викладачів, γ – деякий параметр.

Оскільки «оштрафованими» можуть бути і розв'язки, що не задовольняють вимогам студентських груп, і розв'язки, що не задовольняють вимогам окремих викладачів, то доцільно вважати штрафну функцію адитивною і записувати так:

$$\phi(F_1(r) \vee F_2(r)) = \beta_1 \phi_1(F_1(r)) + \beta_2 \phi_2(F_2(r)) = \beta_1 f_1^{(q)}(\bigvee_{j=1}^{w_i} x_j^i) + \beta_2 f_2^{(K)}(y_j, D). \quad (15)$$

Очевидно, що чим більшою мірою порушуються обмеження, тим більшим має бути значення функції штрафу. За побудовою функція штрафу є невід'ємною функцією, а виходячи зі свого призначення, для неї справедлива нерівність

$$0 \leq \varphi(*) \leq F_{\max}. \quad (16)$$

Аналогічно і для її компонент

$$0 \leq \varphi_i(F_i(r)) \leq F_{i\max} \quad \text{і} \quad 0 \leq f_1^{(q)}(\bigvee_{j=1}^{w_i} x_j^i) \leq F_{1\max}, \quad 0 \leq f_2^{(K)}(y_j) \leq F_{2\max}. \quad (17)$$

Розглянемо побудову штрафної функції $\varphi_1(*)$. Введемо функцію відстані від передбачуваного потенційного розв'язку r до області $\Omega_2(P, S, L, A)$. Вище вказано, що для того, щоб отримати пріоритети вимог студентів x_j використовувався метод аналізу ієрархій Т. Сааті. При побудові матриці попарних порівнянь враховувались лише прийнятні вимоги. За таким же принципом будуємо матрицю попарних порівнянь для неприйнятних варіантів розкладів.

Існує декілька способів визначення штрафної «студентської» функції. Для першого способу достатньо покласти

$$\overline{x_j^i} = 1 - x_j^i, \quad \sum_{j=1}^{w_i} x_j^i = 1, \quad \sum_{j=1}^{w_i} \overline{x_j^i} = 1, \quad j = \overline{1}, w_i, \quad i = \overline{1}, q \quad (18)$$

і вважати, що

$$f_1^{(q)}(\bigvee_{j=1}^{w_i} x_j^i) = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{w_i} (1 - x_j^i). \quad (19)$$

Переваги виразу (19) – простота отримання, недолік – евристика про те, що значення небажаного обернено пропорційно значенню бажаного, що не завжди справедливо. Крім того, відсутня градація небажаних за певними вимогами розкладів.

Для другого способу необхідно за елементами матриці попарних порівнянь визначити небажаність виконання тієї чи іншої вимоги. Чим вимога є небажанішою, тим більшим є відповідне значення $\overline{x_j}$. Вважаємо, що кожній бажаній вимозі відповідає небажана вимога. Штрафна функція буде такою:

$$f_1(\bigvee_{i=1}^q (\bigvee_{j=1}^{w_i} x_j^i)) = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{w_i} \overline{x_j^i} \quad (20)$$

Зауважимо, що в загальному випадку $\overline{x_j^i} \neq \overline{x_j^i}$, $i = \overline{1, q}$, $j = \overline{1, w_i}$.

Реалізація третього способу пов'язана з повним використанням можливостей методу аналізу анархій Т. Сааті. Для визначення небажаності реалізації тієї чи іншої вимоги будуюмо ієрархічну структуру вимог. На верхньому рівні знаходяться вимоги, аналогічні розглянутим у другому способі, та їх значення небажаності. Їх реалізації відомі: $\overline{x_j^i}$. На нижньому рівні необхідно будувати матриці попарних порівнянь для підваріантів таких вимог.

Так, студентській вимозі $H = \{\text{Одна лекція в понеділок}\}$ відповідає небажана вимога $\overline{H} = \{\text{Тільки не одна лекція в понеділок}\}$. Очевидно, що $H = \overline{H_0} \cup \overline{H_2} \cup \overline{H_3} \cup \overline{H_4}$, де $H_i = \{i \text{ лекцій в понеділок}\}$. Для вимог H_i , $i = \overline{0, 4}$, $i \neq 1$ будуюмо матриці попарних порівнянь і знаходимо значення рівня їх небажаності. Для загального випадку – це значення $\overline{x_{jy}^i}$, $y = \overline{1, k_j}$. Тоді функція штрафу буде такою:

$$f_1(\bigvee_{i=1}^q (\bigvee_{j=1}^{w_i} x_j^i)) = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{w_i} \overline{x_j^i} \sum_{y=1}^{k_j} \overline{x_{jy}^i} \cdot \chi(i - \text{й варіант } j - \text{ї вимоги реалізовано}). \quad (21)$$

Функція штрафу $f_2(\bigvee_{j=1}^k y_j, D)$ конструюється аналогічним чином. Єдиною принциповою відмінністю є необхідність врахування як пріоритетів викладачів, так і їхніх вимог.

Використання штрафних функцій направлене на збільшення різноманітності потенційних розв'язків, пошук розв'язків, які відповідають великим значенням цільової функції, але які є неприйнятними для деяких учасників навчального процесу.

У третьому розділі обґрунтовано використання еволюційного моделювання для розв'язання задачі складання розкладу навчальних занять. Основна перевага еволюційного моделювання полягає у можливості розв'язання задач, що мають багато локальних оптимумів за рахунок комбінування елементів випадковості і спрямованості аналогічно тому, як це відбувається в природі.

Представлено особливості формування структури розв'язку та початкової популяції, наведено метод формування розкладу занять з використанням еволюційного

моделювання, розроблено структуру хромосоми, яка є потенційним розв'язком задачі (13).

Розроблено матрично-еволюційний метод оптимізації цільової функції, що використовується для оптимізації обчислювального процесу. З цією метою розклад занять представлено як деяку таблицю з полями

$$Sh = \langle Day, Year, Group, Room, Course, Type, Lecturer, Time \rangle, \quad (22)$$

де *Day* – день проведення занять, *Year* – курс, на якому навчаються студенти, *Group* – шифр групи студентів, *Room* – аудиторія, в якій відбувається навчання, *Course* – навчальна дисципліна (предмет), *Type* – тип заняття (лекція, семінар, практичне заняття, консультація, іспит тощо), *Lecturer* – прізвище, ім'я, по-батькові викладача, *Time* – номер пари.

Така кількість полів ускладнює перевірку розкладу на адекватність. Спростимо його і подамо у вигляді деякої тривимірної ґратчастої структури. Така структура буде мати вигляд прямокутного паралелепіпеда зі сторонами, що лежать на осях

$$X_1 = \langle \text{День} - \text{Пара} \rangle, \quad X_2 = \langle \text{Курс} - \text{Група} \rangle, \quad X_3 = \langle \text{Аудиторія} \rangle. \quad (23)$$

У вузлах решітки паралелепіпеда будуть знаходитися значення

$$Z = \langle \text{Викладач} - \text{Предмет} - \text{Форма}_{\text{ заняття}} \rangle. \quad (24)$$

Оскільки визначення структури потенційного розв'язку задачі формування розкладу має велике значення для оптимізації обчислювального процесу, то зауважимо, що перетворення тріади $\langle \text{Викладач} - \text{Предмет} - \text{Форма}_{\text{ заняття}} \rangle$ в ціле число повинне здійснюватися за певним алгоритмом. Наведемо його особливості. На першому етапі визначаються всі форми занять з одного предмету певного викладача. Далі, виконуємо те ж саме для іншого предмету, але того ж викладача. На наступному кроці визначаються предмети і форми заняття іншого викладача тощо. Відзначимо, що викладачі впорядковані за посадами, ступенями і званнями. Якщо зазначені атрибути збігаються, то викладачі впорядковуються за алфавітом. Після отримання списку в зазначеному форматі здійснюється кодування.

У другому варіанті у вузлах решітки можуть кодуватися лише предмети і форми занять, оскільки за першими двома атрибутами і базою даних можна однозначно встановити викладача.

Запропонований метод формування фрагмента потенційного розв'язку дозволить прискорити обчислювальний процес за рахунок забезпечення неперервності одержуваних розв'язків. Зокрема, якщо буде виявлено, що деякий викладач не може провести певне заняття з даного предмету, то більш ймовірно, що в першу чергу на наступному кроці йому буде запропоновано змінити форму заняття або предмет.

Одночасно з побудовою паралелепіпеда розкладу будується ще один паралелепіпед такої ж розмірності, але у вузлах решітки якого будуть знаходитись одиниці, які вказують, що в певний день на вказаній парі для групи студентів в заданій аудиторії проходить заняття і нуль, якщо там заняття немає. Такий паралелепіпед необхідний для прискорення процесу побудови потенційних розв'язків-розкладів і перевірки їх адекватності, а також для обчислення значень цільової функції.

Оскільки цільова функція (13) є складною поліекстремальною залежністю, то для розв'язання відповідної задачі розроблено модифікований метод спрямованої оптимізації, у якому передбачено і використання штрафної функції. Він має такі кроки:

Крок 1. Визначити структуру S потенційного розв'язку r .

Крок 2. Визначити критерій E зупинки пошуку оптимального розв'язку.

Крок 3. Виконати кодування потенційного розв'язку.

Крок 4. Поки не виконаний критерій E :

Крок 4.1. Поки вибірка потенційних розв'язків Z неповна, то виконати

Крок 4.1.1. Згенерувати потенційний розв'язок r .

Крок 4.1.2. Якщо він не є допустимим ($r \notin \Omega_1(P, S, L, A)$), то перейти на крок 4.1.1.

Крок 4.1.3. Якщо розв'язок прийнятний ($r \in \Omega_2(P, S, L, A)$), то записати його у вибірку Z і перейти на крок 4.1.

Крок 4.1.4. Якщо розв'язок r неприйнятний хоча б по одному з обмежень з $\Omega_2(P, S, L, A)$, то реалізувати один з трьох варіантів:

А: Перейти на крок 4.1.1.

В: Якщо варіант А виконано більше A_{\max} разів, то перейти до варіанту С.

С: Покласти

$$F(r) = \alpha_S F_1(r) + \alpha_L F_2(r) - \beta_{it} \varphi(F_1(r) \vee F_2(r)), \quad (25)$$

де β – ваговий коефіцієнт, it – номер ітерації, $\varphi(*)$ – функція штрафу. Вважати r потенційним розв'язком і перейти на крок 4.1.1.

Крок 4.2. Для всіх потенційних розв'язків обчислити значення цільової функції $F(*)$, враховуючи те, що, якщо розв'язок є допустимим і прийнятним, то значення функції штрафу $\varphi(*) = 0$.

Крок 4.3. Виконати генерацію нових потенційних розв'язків, виходячи із значень цільової функції, застосовуючи операції кросоверу і мутації (якщо методом оптимізації є генетичний алгоритм) або мутації, якщо це еволюційна стратегія. У випадку використання елементів методу спрямованої оптимізації (МСО) застосовуються і елементи теорії ймовірностей та теорії нечітких множин, а також метод аналізу ієрархій Сааті для визначення перспективності потенційних розв'язків та кількості їх розв'язків-нащадків.

Крок 5. Обчислення значення критерію E . Таким критерієм найчастіше є мінімізація значення максимальної відстані між розв'язками однієї або сусідніх популяцій.

Матрично-еволюційний метод дозволяє скоротити час розв'язування задачі як шляхом скорочення розмірності задачі, так і внаслідок спрямованого пошуку оптимізованого розв'язку.

Як один із методів розв'язання задачі складання розкладу занять використовувався метод послідовного аналізу варіантів. Запропонований ітераційний метод, в порівнянні з матрично-еволюційним методом, дає можливість отримувати менш точні розв'язки, а також значно збільшує час розв'язання задачі. Виходячи з цього,

можна сказати, що метод ефективний для задач невеликої розмірності, оскільки при великій розмірності задачі час її розв'язання буде істотно збільшуватися.

У четвертому розділі обґрунтовано вибір засобів інформаційно-аналітичної системи, представлено структуру бази даних, виходячи з якої формується розклад.

Для того, щоб мати можливість проводити обробку даних, необхідно здійснити перетворення даних із різних форматів до формату натуральних чисел. Матимуть місця такі відображення:

Day: String \rightarrow *Integer*, $\{1,2,\dots,6\}$; $D_m=6$;
Year: Integer \rightarrow *Integer*, $\{1,2,\dots,6\}$; $Y_m=6$;
Group: String \rightarrow *Integer*, $\{1,2,\dots,200\}$; $G_m=200$;
Room: Integer \rightarrow *Integer*, $\{1,2,\dots,300\}$; $R_m=300$;
Course: String \rightarrow *Integer*, $\{1,2,\dots,1000\}$; $C_m=1000$;
Type: String \rightarrow *Integer*, $\{1,2,\dots,7\}$; $Ty_m=7$;
Lecturer: String \rightarrow *Integer*, $\{1,2,\dots,200\}$; $L_m=200$;
Time: Integer \rightarrow *Integer*, $\{1,2,\dots,6\}$; $Ti_m=6$.

Вище вказано, яких значень набуватимуть атрибути. Справа позначені константи та вказані їх максимальні значення, які записані для попереднього орієнтування. Для кожного ВНЗ такі значення будуть різними. Загальна можлива кількість розкладів визначається формулою

$$N_{sh} = D_m \cdot Y_m \cdot G_m \cdot R_m \cdot C_m \cdot Ty_m \cdot L_m \cdot Ti_m. \quad (26)$$

Якщо в (26) підставити значення-орієнтири, то кількість розкладів складе $N_{sh} = 1\ 440\ 000\ 000\ 000$. Очевидно, що оцінювання за цільовою функцією (13) або (25) такої кількості розкладів є надто тривалим. Тому для оптимізації процесу формування розкладу запропоновано здійснити наступні кроки.

1. Виконується об'єднання кортежів *Course*, *Lecturer* і *Type*, тобто в одному атрибуті буде зосереджена інформація про навчальну дисципліну (її назву), викладача (ППП) та тип заняття, яке він проводить. Новий атрибут позначимо INCLT. Має місце відображення

$$\langle Course, Lecturer, Type \rangle \rightarrow INCLT, \quad (27)$$

$$INCLT : String \times String \times String \rightarrow Integer, \{1,2,\dots,7000\}, I_m = 7000.$$

Максимальне значення атрибуту *INCLT* є 7000, яке пояснюється тим, що кількість викладачів дорівнює 200, кожен з яких може вести заняття не більше ніж з 5 навчальних дисциплін, кожна з яких має не більше 7 форм занять. Очевидно, що I_m взято для значень-орієнтирів з надлишком. З урахуванням (27) кількість можливих розкладів складає 90 720 000 000, що майже в 16 раз менше, ніж у попередньому варіанті.

2. Вважаємо, що базовими документами для формування розкладу є навчальний план, який має вигляд таблиці бази даних з такими кортежами:

$$Lp = \langle Course, Sem, Ex, Le, Pr, La, Nw \rangle, \quad (28)$$

де *Sem* – номер семестру, в якому викладається навчальна дисципліна *Course*; *Ex* – екзамен або залік; *Le* – кількість лекційних годин з курсу *Course* в семестрі *Sem*;

P_r – відповідна кількість практичних занять; L_a – кількість годин на лабораторні заняття; N_w – кількість тижнів у семестрі Sem і документ, який визначає навчальне навантаження викладачів та містить кортежі

$$N_p = \langle Lecture, Course, Year, Group, N_{Le}, N_{Pr}, N_{La}, N_{Co}, N_K \rangle, \quad (29)$$

де $N_{Le}, N_{Pr}, N_{La}, N_{Co}, N_K$ – кількість годин, відведених на лекції, практичні заняття, лабораторні роботи, консультації, іспити або заліки відповідно з дисципліни $Course$ в групі $Group$.

3. У першому наближенні вважатимемо, що на лабораторні роботи група не ділиться на підгрупи, але така можливість буде передбачена.

Таким чином, розклад (22) з урахуванням вищенаведеного набуде вигляду таблиці

$$Sh^* = \langle Day, Year, Group, Room, INCLT, Time \rangle \quad (30)$$

і його формування буде здійснюватись в результаті реалізації перетворення

$$L_p \times N_p \rightarrow Sh^* \quad (31)$$

за умови виконання обмежень (2).

Для визначення адекватності та ефективності розроблених моделей і методів, а також актуалізації створеної інформаційно-аналітичної системи були проведені розрахунки на створених автоматично і «вручну» розкладах занять. Дослідження проводились на розкладах для факультету інформаційних технологій і систем Черкаського державного технологічного університету, створених на різних вибірках початкових даних: для різних семестрів (осінній, весняний), для різних навчальних років (2014-2015 н.р., 2015-2016 н.р.). Результати порівняльної характеристики значень цільових функцій для різних початкових даних наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення цільової функції (ЦФ) для різних вибірок початкових даних

Спосіб створення розкладу	Осінній семестр 2014-2015 н.р. (76 викладачів, 43 групи, 49 аудиторій)	Весняний семестр 2014-2015 н.р. (75 викладачів, 43 групи, 46 аудиторій)	Осінній семестр 2015-2016 н.р. (74 викладачі, 45 груп, 49 аудиторій)	Весняний семестр 2015-2016 н.р. (74 викладачі, 45 груп, 47 аудиторій)
вручну	643,4	488,5	604,7	543,4
автоматично	682,3	521,4	663,1	571,2
Відносний приріст ЦФ у відсотках	≈5,7%	≈6,3%	≈8,8%	≈4,9%

Розрахунок значень цільових функцій, отриманих при автоматичному та «вручному» методах створення розкладу навчальних занять, показав, що ефективність розроблених моделей та методів (ступінь задоволення вимог студентів і викладачів)

підвищилась на 5-9% у порівнянні з методом «ручного» складання розкладу занять у ВНЗ.

Крім дослідження оптимальності автоматично складеного розкладу занять проведено дослідження залежності часу розв'язання задачі складання оптимального розкладу від розмірності задачі. В середньому проводилось від 5 до 10 тестів для кожної розмірності початкових даних. У результаті отримані дані, наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Залежність часу розв'язання задачі складання розкладу від розмірності задачі

Розмірність задачі – (кількість пар) · (кількість груп) · (кількість днів тижня)	Час розв'язання (хв.)					
	max (ГА)	min (ГА)	середній (ГА)	max (МСО)	min (МСО)	середній (МСО)
50	0,8	0,05	0,24	0,6	0,04	0,30
250	3,2	0,9	1,96	2,3	0,6	1,48
450	5,4	2,1	3,5	3,6	1,5	2,57
650	12	3,1	5,8	9	2,2	5,53
850	14	5,2	7,6	10	3,5	6,71
1050	25	10	14,05	16,5	7,3	11,9
1250	39	14,5	18,1	27,7	9,7	18,72
1450	46	19	26,5	32	12,9	22,33
1650	51	25	32	34,7	17,3	25,97
1850	*	30	*	52	21,9	36,95
2050	*	37	*	58	26,3	42,14

де * – задача не розв'язана через перевищення заданого періоду часу (60 хв).

На рис. 1 зображений графік залежності середнього часу розв'язання задачі від розмірності задачі за допомогою генетичних алгоритмів (ГА) і модифікованого методу спрямованої оптимізації з використанням штрафної функції (МСО).

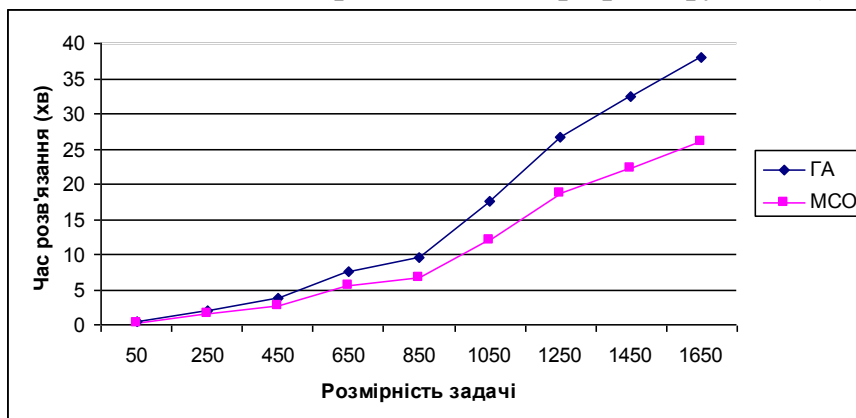


Рисунок 1 – Часова динаміка процесу розв'язання задачі.

Таким чином, модифікований метод спрямованої оптимізації з використанням штрафної функції в порівнянні з генетичним алгоритмом дає 28-31% приросту швидкості знаходження розв'язку за рахунок направленості пошуку оптимуму.

Експериментальна перевірка результатів функціонування інформаційно-аналітичної системи і тестування еволюційного алгоритму показали доцільність ви-

користання наведеної цільової функції, а також принципову можливість використання апарату еволюційного моделювання у розв'язанні задачі складання розкладу занять.

Тестування розробленої автоматизованої системи складання розкладу було здійснено на прикладі складання розкладу для факультету інформаційних технологій і систем Черкаського державного технологічного університету, що має досить складний профіль вимог.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні розв'язана науково-технічна задача підвищення ефективності функціонування вищого навчального закладу шляхом розробки моделей і методів формування розкладу навчальних занять, зокрема:

1. Проведений аналіз принципів, моделей, методів та інструментальних засобів свідчить про домінування механістичного підходу до формування розкладу занять у вищих навчальних закладах з мінімальним урахуванням вимог суб'єктів навчального процесу.
2. Виконано формалізовану постановку та розв'язано задачу складання розкладу занять з урахуванням вимог викладачів і студентів та штрафів за їх невиконання, що дозволило здійснювати порівняльний аналіз ефективності розкладів навчальних занять як ступеня задоволення таких вимог.
3. Побудовано математичні моделі, в яких диференційовано враховано вагові коефіцієнти студентів та викладачів, а також пріоритетність вимог студентських груп та індивідуальні переваги викладачів, оптимізація ступеня задоволення яких і визначає процес формування оптимізованого розкладу занять.
4. Сформовано структуру потенційних розв'язків задачі складання розкладів та їх подання у вигляді вузлів решітки прямокутного паралелепіпеда, що дозволило зменшити кількість таких розв'язків. Їх генерація здійснюється з урахуванням «жорстких» обмежень, а нові розв'язки отримують шляхом варіації можливих варіантів, що залишились, з урахуванням їх перевірки на суперечливість. Це дозволяє скоротити час пошуку оптимізованого розкладу на 28-31%.
5. Розроблено інтегральний матрично-еволюційний метод оптимізації цільової функції задачі складання розкладів, синергетичний ефект використання якого досягається через скорочення розмірності задачі та спрямований пошук оптимального значення складної негладкої поліекстремальної залежності, які дозволяють визначати ефективність розкладу як ступінь задоволення вимог студентів і викладачів.
6. Результати експериментальної верифікації свідчать про те, що запропоновані моделі та метод не дозволяють гарантувати отримання оптимального розв'язку, вони спрямовані на пошук розкладів, ефективність яких можна порівняти і, відповідно, вибрати найкращий з них. У порівнянні з методом «ручного» складання розкладу занять у ВНЗ застосування запропонованої технології дозволяє одержати розклад, який на 5-9% є ефективнішим.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бойко О.М. Концептуальний аналіз критеріальних функцій та методів теорії розкладів / О.М. Бойко // Вісник ЧДТУ – 2006. – № 1. – С. 33-39.
2. Бойко О.М. Еволюційна технологія розв'язування задачі складання розкладів навчальних занять / О.М. Бойко // Искусственный интеллект. – 2006. – № 3. – С. 341-348.
3. Сипко Е.Н. Оператор мутации в эволюционной технологии решения задачи составления расписаний / Е.Н. Сипко // International Book Series, Information Science And Computing, Book 7 Artificial Intelligence and Decision Making. – Varna, 2008. – Pp. 111-116.
4. Сипко Е.Н. Метод последовательного анализа вариантов решения задачи составления расписания занятий / Е.Н. Сипко // Искусственный интеллект – Донецк, 2011. – № 1. – С. 243-250.
5. Sipko O.M. Aspects of formulation of the objective function in the problem of scheduling in higher educational institutions based on subjective preferences / O.M. Sipko, V.Ye. Snytyuk // Nauka i Studia. – Polska, Przemysł: Sp. z o.o. «Nauka i studia». – 2014. – № 15 (125). – С. 39-51
6. Снитюк В.Е. Об особенностях формирования целевой функции и ограничений в задаче составления расписания занятий / В.Е. Снитюк, Е.Н. Сипко // Математичні машини і системи. – 2014. – № 3. – С. 88-95.
7. Снитюк В.Е. Штрафные функции в задаче составления расписания занятий / В.Е. Снитюк, Е.Н. Сипко // Математичні машини і системи. – 2015. – № 3. – С. 158-164.
8. Бойко О.М. Еволюційна технологія складання розкладу занять у ВНЗ / О.М. Бойко // Збірник тез Четвертої Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Шевченківська весна». – Київ, 2006 р. – С. 278-280.
9. Сіпко О.М. Аспекти еволюційної технології для визначення області компромісу між значеннями цільових функцій «викладача» і «студента» у задачі складання розкладів / О.М. Сіпко // Матеріали VIII-ї міжнародної конференції «Інтелектуальний аналіз інформації». – Київ, 2008. – С. 440-446.
10. Сіпко О.М. Аналіз результатів та перспективи застосування еволюційного алгоритму розв'язання задачі складання розкладів / О.М. Сіпко // Матеріали VI Всеукраїнської конференції молодих науковців «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці». – Черкаси: ЧНУ, 2008. – С. 50.
11. Сіпко О.М. Вибір типу кросоверу в еволюційній технології розв'язання задачі складання розкладів навчальних занять / О.М. Сіпко // Матеріали XVI Всеукраїнської наукової конференції «Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики». – Львів, 2009. – С. 193.
12. Сіпко О.М. Аналіз методів рекомбінації в еволюційній технології розв'язання задачі складання розкладів навчальних занять / О.М. Сіпко // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції “Комп'ютерні науки та інформаційні технології”. – Львів. 2009. – С. 138-140.

13. Сіпко О.М. Случайная мутация в задаче составления расписания учебных занятий / О.М. Сіпко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «SAIT 2010». – Київ, 2010. – С. 315.
14. Сіпко О.М. Порівняльний аналіз операторів мутації в оптимізаційних задачах / О.М. Сіпко // Матеріали VI Всеукраїнської конференції молодих науковців ІТОНТ-2010. – Черкаси, 2010. – С. 74.
15. Сіпко О.М. Імплементация цільової функції задачі складання розкладів в метод послідовного аналізу варіантів / О.М. Сіпко // Матеріали V Міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, 2010. – С. 205.
16. Сіпко О.М. Визначення статусу суб'єктів навчального процесу на основі аналізу ієрархій / О.М. Сіпко // Матеріали Першої Міжнародної науково-технічної конференції ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ІНТЕЛЕКТ – 2011 (результати, проблеми, перспективи). – Черкаси, 2011. – С. 240.
17. Сіпко О.М. Методи обробки нечітко заданих початкових даних в задачі складання розкладу занять / О.М. Сіпко // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці». – Черкаси, 2012. – С. 63.
18. Сіпко О.М. Метод послідовного аналізу варіантів розв'язання задачі складання розкладу навчальних занять / О.М. Сіпко // Праці VI міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, 2012. – С. 177-178.
19. Сіпко О.М. Груповий та індивідуальний підходи для визначення вимог суб'єктів навчального процесу / О.М. Сіпко // Матеріали Другої Міжнародної науково-технічної конференції «Обчислювальний інтелект-2013». – Черкаси, 2013. – С. 241.
20. Снитюк В.Є. Формування цільової функції в задачі складання розкладу занять у ВНЗ на основі суб'єктивних переваг / В.Є. Снитюк, О.М. Сіпко // Матеріали 16-ї Міжнародної конференції System Analysis and Information Technologies (SAIT 2014). – Київ, 2014. – С.263-264.
21. Снитюк В.Є. Аспекти формування цільової функції в задачі складання розкладу занять у ВНЗ / В.Є. Снитюк, О.М. Сіпко // Матеріали Дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та імітаційне моделювання систем. (МОДС '2014')». – Київ-Жукин, 2014. – С. 349-353.
22. Snytyuk V.Ye. Aspects of formulation of the objective function in the problem of scheduling in higher educational institutions based on subjective preferences / V.Ye. Snytyuk, O.M. Sipko // Proceedings of XX-th International conference «Knowledge-Dialogue-Solution». – Київ, 2014. – С. 136-137.
23. Сіпко О.М. Врахування вимог студентів і викладачів в задачі складання розкладу занять / Сіпко О.М., Котик О.В. // VII Міжнародна школа-семінар «Теорія прийняття рішень»: праці школи-семінару, 29 вересня – 4 жовтня 2014 р. – Ужгород: УжНУ, 2014. – С. 236.
24. Снитюк В.Є. Еволюційний метод розв'язання задачі складання розкладу занять з використанням функції штрафу / В.Є. Снитюк, О.М. Сіпко // Матеріали II Міжнародної конференції «Інформаційні технології та взаємодії» КНУ ім.Тараса Шевченка. – Київ, 2015. – С. 109-111.

АНОТАЦІЯ

Сіпко О.М. Моделі та еволюційний метод складання розкладу занять у вищому навчальному закладі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології – Київський національний університет імені Тараса Шевченка МОН України. – Київ, 2016.

Робота присвячена розробці моделей та методів формування розкладу занять у вищому навчальному закладі. Запропоновано нові підходи, моделі й метод формування цільової функції, в основі якої лежать переваги викладачів і студентів, що дозволяє враховувати вимоги суб'єктів навчального процесу з її подальшою оптимізацією на основі застосування еволюційних технологій та матричного представлення розкладу.

Розроблено принципи створення та структуру автоматизованої системи складання розкладів навчальних занять у ВНЗ, а також структуру модулів програми, що дозволяє оперативно вносити зміни в необхідних таблицях. Представлено структурний та функціональний опис автоматизованої системи складання розкладу навчальних занять. Здійснено опис проведених експериментів та верифікацію розроблених моделей та методу формування розкладу навчальних занять.

Ключові слова: розклад занять, цільова функція, штрафна функція, матричне представлення розкладу, еволюційні технології.

АННОТАЦИЯ

Сипко Е.Н. Модели и эволюционный метод составления расписания занятий в высшем учебном заведении. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко МОН Украины. – Киев, 2016.

Целью исследования является повышение эффективности процесса диспетчеризации занятий в высших учебных заведениях путем разработки моделей и методов составления расписания учебных занятий на основе субъективных предпочтений и эволюционных технологий.

Для высших учебных заведений Украины разработка общих подходов, методологии составления расписаний занятий – одна из важнейших проблем оптимизации учебного процесса. Динамика требований работодателей, постоянно изменяющаяся законодательная основа, сокращение материальной базы и увеличение количества специальностей приводит к необходимости оптимизации процесса использования кадрового потенциала, аудиторного фонда и экономии энергетических ресурсов.

Еще одним важным фактором является значительное количество субъектов учебного процесса, заинтересованных в качественном решении задачи составления расписаний, к которым относятся преподаватели, студенты, административные сотрудники.

В работе выполнено формализованную постановку задачи составления расписания учебных занятий и определены аспекты ее решения с использованием эволюционного моделирования. Определены различные аспекты учебной деятельности,

связанные с автоматизацией учебного процесса. Предложены принципы системного подхода в преодолении проблем, связанных с созданием расписаний учебных занятий. Построены математические модели, которые позволяют определять эффективность составленного расписания.

Разработан метод формирования расписания в вузе, основанный на разработке и использовании целевой функции, в основе которой лежат предпочтения преподавателей и студентов, который позволяет учитывать требования субъектов учебного процесса. Предложен метод формирования потенциального решения. Оптимизирована структура потенциальных решений в виде узлов решетки параллелепипеда, генерация потенциальных решений осуществляется с учетом «жестких» ограничений, а новые решения получают путем вариации возможных оставшихся вариантов с учетом их проверки на противоречивость. Использование эволюционной стратегии не требует перекодирования решений, специфика формирования потенциальных решений гарантирует соблюдение принципа непрерывности процесса генерации решений. Детальное исследование области потенциальных решений и соответствующая генерация новых ускоряют процесс оптимизации.

Разработаны принципы создания и структура автоматизированной системы составления расписаний учебных занятий в вузах, а также структура модулей программы, что позволяет оперативно вносить изменения в необходимых таблицах. Представлены структурное и функциональное описание автоматизированной системы составления расписания учебных занятий. Осуществлены описание проведенных экспериментов и верификация разработанных моделей и метода формирования расписания учебных занятий.

Ключевые слова: расписание занятий, целевая функция, штрафная функция, матричное представление расписания, эволюционные технологии.

ANNOTATION

Sipko O.M. Models and evolutionary method of forming schedule in high school. – Manuscript.

Candidate's thesis on technical sciences, speciality 05.13.06 – information technology. – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of education and science of Ukraine. – Kyiv, 2016.

The work is devoted to developing models and methods of formation of schedule in high school. New approaches, models and method of formation of the objective function, which is based on the benefits of teachers and students that takes into account the requirements of the educational process with further optimized through the use of technology and the evolution matrix presentation schedule.

The principles of creation and structure of the automated system of scheduling classes at the university, and the structure of the program modules, allowing you to make quick changes in the required tables. Presented structural and functional description of the automated system for scheduling training sessions. Inscribed the experiments and verification of developed models and method of forming the schedule of classes.

Keywords: schedule, objective function, penalty function, matrix representation scheduling, evolutionary technology.