

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ РОЗПОДІЛУ НАВЧАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

© Юрчак І. Ю., Москович Т. Р., 2018

Визначено актуальність автоматизованого формування навчального розкладу, що є запорукою ефективної організації навчального процесу, розподілу навантаження для викладачів, врахування різного виду занять та відповідних приміщень. Проаналізовано особливості існуючих систем формування розкладів, визначено їхні сильні та слабкі сторони. Розглянуто методи та підходи до вирішення задачі автоматизованого розподілення навантаження.

Досліджено особливості генетичних алгоритмів, їх переваги для розв'язання задач оптимізації та обґрунтовано можливість використання для реалізації автоматизованої системи розподілу навантаження у вищому навчальному закладі. Запропоновано модифікований генетичний алгоритм, який реалізує кращі якості класичного алгоритму та позбавлений деяких його недоліків. Визначено основні параметри генетичного алгоритму та враховано їх вплив на швидкість та якість кінцевого результату. Подано математичну постановку загальної задачі розподілу та розроблено модель автоматизованої системи формування навантаження, яка реалізує методику складання розкладу, орієнтованого на організацію навчального процесу. Кінцевий застосунок реалізовано мовою Java і надано для користування як веб-сервіс. Таке представлення забезпечує можливості одночасного віддаленого доступу користувачів до інформаційних ресурсів. Керування параметрами роботи алгоритму винесено у конфігураційні файли, що надає можливість ефективнішого використання та внесення оптимізаційних змін у його роботу.

Ключові слова: автоматизована система формування навантаження, розклад занять, математичні моделі розкладу занять, моделі генетичних алгоритмів.

I. Yurchak, T. Moskovych

Lviv Polytechnic National University,
Computer Engineering Department

APPLYING OF GENETIC ALGORITHMS IN THE AUTOMATED WORKLOAD DISTRIBUTION SYSTEM FOR TEACHERS AND STUDENTS

© Yurchak I., Moskovych T., 2018

There was determined the relevance of the automated formation of the education schedule, which is the key to effective organization of the educational process, distribution of workload for teachers, accounting for various types of classes and relevant rooms. Analyzed the features of

existing scheduling systems, their specifics. Considered the methods and approaches to solving the problem of automated distribution capacity.

Investigated features of genetic algorithms, their advantages for solving optimization problems and a possibility of using for the implementation of an automated system of distribution capacity in an academy. Proposed the modified genetic algorithm that implements the best qualities of the classical algorithm and lacks some of its limitations. Determined main parameters of the genetic algorithm and taken into account their influence on the speed and quality of the final result is. Submitted a mathematical formulation of the general distribution problem and developed the model of an automated system of distribution capacity, which implements a method for compiling a schedule focused on the organization of the educational process. The final application is implemented in Java and is provided for use as a web service. This view provides the possibility of remote access users to information resources. Managing the parameters of the algorithm made in the configuration files, allows for more efficient use and making optimization changes to its work.

Key words: automated workload distribution system, schedule of classes, mathematical models of class schedules, model of genetic algorithms.

Вступ

Проблема автоматизованого формування навчального розкладу залишається однією з найактуальніших проблем організації навчального процесу в освітніх системах. Складання ефективного навчального розкладу є запорукою оптимального розподілу навантаження викладачів та студентів [1].

Від того, наскільки правильно та вдало сформовано навчальний розклад залежить:

1. Якість навчання.
2. Ефективність та комфортність навчального процесу студентів та викладачів.
3. Зменшення ймовірності внесення змін до сформованого розкладу занять після початку навчального семестру.

Як правило, завданням формування навчального розкладу займається диспетчер, який повинен враховувати певні вимоги до організації навчального плану, розподілення аудиторій для проведення занять, поділу студентських груп на підгрупи, наявність викладачів за сумісництвом, наявність спеціалізованих приміщень для проведення лабораторних занять та багато іншого.

Розв'язання задачі формування та оптимізації ефективного розкладу навчальних занять вручну проводиться дуже рідко, оскільки така задача є складною і потребує багаточасових затрат [2]. Тому значну увагу приділяють автоматизованому процесу складання навчального розкладу.

Під "автоматизацією" зазвичай розуміють застосування технічних і програмних засобів, які частково або повністю звільняють людину від безпосередньої участі в процесах отримання, перетворення, передавання і використання матеріалів або інформації.

Процес автоматизації формування розкладу надає можливості [3]:

- 1) враховувати всі необхідні вимоги щодо організації та планування ефективного навчального розкладу;
- 2) визначати основні критерії для оцінювання оптимізації та ефективності сформованого розкладу;
- 3) зменшувати час процесу складання розкладу;
- 4) враховувати побажання та вимоги викладачів щодо часу проведення навчальних занять і забезпечення можливості роботи за сумісництвом.

Стан проблеми

Завдання теорії розкладів мають не лише важливе теоретичне значення, оскільки належать до класу NP-повних задач, але і набули практичного поширення. Для знаходження оптимального розв'язку такого класу задач необхідно провести повний перебір всіх можливих варіантів, що не завжди можливо зробити з огляду на обмеженості ресурсів. Побудова оптимального плану розподілу занять при використанні точних методів рішення може зайняти занадто багато часу і ресурсів,

в даному випадку – повний перебір варіантів, що із збільшенням розмірності задачі призводить до логарифмічного зростання витрачених ресурсів для знаходження розв’язку.

Виникає необхідність у методах, що характеризуються поєднанням поліноміальної залежності часу розрахунку від розмірності задачі і точністю, що наближена до оптимальної [4]. До такого класу методів належать еволюційно-генетичні алгоритми, які сьогодні є найбільш гнучкими і ефективними зі всіх відомих наближених алгоритмів [1].

Існує досволі багато систем, за якими можна скласти розклад в автоматизованому режимі. Такі системи розрізняють за функціональністю і гнучкістю.

Основними такими системами є такі програмні продукти:

1. Програма 1С: Автоматизоване складання розкладів. Університет [5].
2. Програма Ректор-ВНЗ [6].
3. Програма Галактика [7].

У таблиці порівняно функціональні можливості систем складання розкладів.

Програмні засоби для розподілення навантаження

Критерії порівняння	“Автоматизоване складання розкладів. Університет”	“Ректор-ВНЗ”	“Галактика – Розклад навчальних занять”
Спосіб складання навчального розкладу	ручний, автоматизований, змішаний	ручний, автоматизований, змішаний	ручний, автоматизований, змішаний
Врахування побажань викладачів та студентських груп	+	-	+
Перегляд розкладу занять онлайн	+	-	+
Врахування допустимої кількості занять в день для студентських груп та викладачів	+	тільки кількість пар на день	+
Вибір основних критеріїв оптимізації розкладу	+	-	+
Можливість формування довільних розкладів	+	+	+
Можливість складання кількох варіантів розкладу і вибір кращого з них	-	-	+
Складання розкладу для двох і більше змін	+	+	+
Можливість оперативного резервування приміщень	+	-	+
Дотримання інтервалу між певними заняттями	-	-	+
Завантаження довідників в певних форматах	excel, xml, html	-	excel, xml
Розмежування прав доступу	-	+	+
Пріоритетність використання ресурсів	-	-	-
Врахування паралельних занять, поділ на підгрупи при складанні розкладу	+	-	+
Швидке редагування поточного розкладу	-	-	+
Складання розкладу екзаменів	+	-	+

Постановка задачі

Основною метою наукової роботи є складання алгоритму, здатного генерувати ефективне навантаження для викладачів та студентів. Як метод складання розкладу пропонується використовувати модифікований генетичний алгоритм, який реалізує всі переваги класичного алгоритму і позбавлений деяких його недоліків.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання [8]:

1. Дослідити класичний генетичний алгоритм щодо спроможності складання коректного ефективного навантаження.
2. Модифікувати алгоритм для підвищення його ефективності.
3. Перевірити ефективність отриманого алгоритму.
4. Дослідити вплив різних параметрів алгоритму на швидкість і результат розв'язання задачі.
5. Визначити ефективні значення параметрів для вирішення завдання.
6. Спроекувати базу даних для уніфікації алгоритму.
7. Реалізувати модифікований генетичний алгоритм, що адаптований для вирішення завдання розподілення навантаження у вищому навчальному закладі.

Розв'язання задачі

1. Дослідження та порівняння методів розподілення. Задачі складання розкладу належать до класу комбінаторних, для яких суттєве значення має розмірність, яка може бути настільки великою, що розв'язати їх простим перебором варіантів є неможливо. Часто такі задачі зводяться до задач цілочисельного лінійного програмування, для розв'язання яких використовуються методи відсікання гілок або меж. Традиційними методами дослідження операцій для задач планування є комбінаторні процедури, імітаційне моделювання, мережні методи й евристичні підходи.

Методи цілочислового програмування

Завдання цілочислового програмування зводиться до виділення змінних, значення яких необхідно знайти, складання математичної моделі задачі у вигляді обмежень, що описують задачу і накладають певні обмеження на змінні та складання цільової функції [9].

Застосування алгоритму:

- 1) виділення змінних.
- 2) складання математичної моделі (виділення обмежень для змінних).
- 3) складання цільової функції.
- 4) знаходження максимуму (мінімуму) цільової функції за допомогою математичних методів.

Основні недоліки:

- 1) експоненціальне збільшення витрат часу на пошук кращого (прийняттого) рішення із зростанням розмірності розв'язуваної задачі.
- 2) відсутність гарантії отримання прийняттого рішення.
- 3) в силу великої розмірності математичної моделі складно оцінити вплив різних чинників на процес вирішення завдання і його результат.

Метод теорії графів

У цьому випадку будується неорієнтований граф, в якому кожна вершина представляє заплановане в навчальному плані заняття. Якщо між двома вершинами можливі конфлікти, то вони з'єднуються ребром. Це еквівалентно забороні одночасного проведення занять. Тоді задача зводиться до розфарбування графу в задану кількість кольорів.

Застосування алгоритму:

- 1) виділення множини занять у навчальному плані;
- 2) представлення кожного заняття у вигляді вершини графу;
- 3) з'єднання вершин графу ребрами у разі неможливості одночасного проведення занять;
- 4) вирішення задачі фарбування графу в задану кількість кольорів.

Основним недоліком методу теорії графів є його низька ефективність для фарбування графів великої розмірності.

Агентний підхід

Суть застосування агентного підходу для розв'язання будь-якої задачі є наступною. Розділення завдання на дрібніші завдання, для вирішення кожного з яких виділяється агент. Мета агента – знайти такий розв'язок, щоб він узгоджувався з рішеннями інших агентів. Агенти домагаються узгодження один з одним обміном інформаційними повідомленнями.

Застосування алгоритму:

- 1) розподіл глобальної задачі на дрібніші під завдання;
- 2) для кожного виду підзавдання реалізується особливий вид агентів;
- 3) складання моделі простору, в якому діють агенти у вигляді правил і аксіом;
- 4) складання онтології понять;
- 5) заміщення всіх користувачів розкладу агентами, метою кожного є знаходження оптимального (для себе) розкладу.

Недоліки:

- 1) відсутність гарантії отримання прийняттого розкладу занять;
- 2) практично неможливо оцінити вплив значень параметрів для внутрішньої логіки кожного з агентів на результат розв'язання задачі.

Метод мурашиної колонії

Оснований на здатності мурах знаходити найкоротші шляхи до їжі за допомогою виділення феромону.

Застосування алгоритму:

- 1) подати завдання у вигляді зваженого графу;
- 2) визначити значення сліду феромону;
- 3) визначити евристику поведінки мурашки при побудові рішення;
- 4) реалізувати локальний пошук.

Недоліки:

- 1) збіжність алгоритму гарантується, але час збіжності не визначено;
- 2) результат роботи методу залежить від початкових параметрів пошуку, які підбираються експериментально;
- 3) теоретичний аналіз значення початкових параметрів ускладнено, дослідження є більше експериментальними.

Метод генетичного алгоритму

Всі розглянуті вище методи в своїй основі використовують ітераційну техніку для покращення результатів. Протягом однієї ітерації шукається розв'язок, який буде кращий за попередній. Якщо такий розв'язок знайдено, він стає поточним, і починається нова ітерація. Так триває, доки приріст цільової функції не зменшиться практично до нуля або не виконається задана кількість ітерацій [10].

Очевидно, що такі методи орієнтовані на пошук лише локальних оптимумів, до того ж розташування знайденого оптимуму залежить від стартової точки. Глобальний оптимум можна знайти лише випадково. Для збільшення ймовірності знаходження глобального оптимуму використовують множинний експеримент з різними початковими точками, що суттєво збільшує час пошуку. У зв'язку з цим представляє інтерес розроблення алгоритмів, які б зберігали переваги описаних методів і не мали би цього недоліку. Саме до таких належать генетичні алгоритми., які обрано в цій роботі як метод розв'язування задачі розподілення навантаження.

Генетичні алгоритми – це стохастичні евристичні оптимізаційні методи, основну ідею яких запозичено з теорії еволюційного розвитку видів [8]. Основним механізмом еволюції є природний відбір, суть якого полягає в тому, що більш пристосовані особини мають більше шансів на виживання та розмноження і, відповідно, приносять більше нащадків, ніж менш пристосовані особини. При цьому завдяки передаванню генетичної інформації нащадки успадковують від батьків основні їхні якості.

На рис. 1 зображено основний принцип роботи генетичного алгоритму.

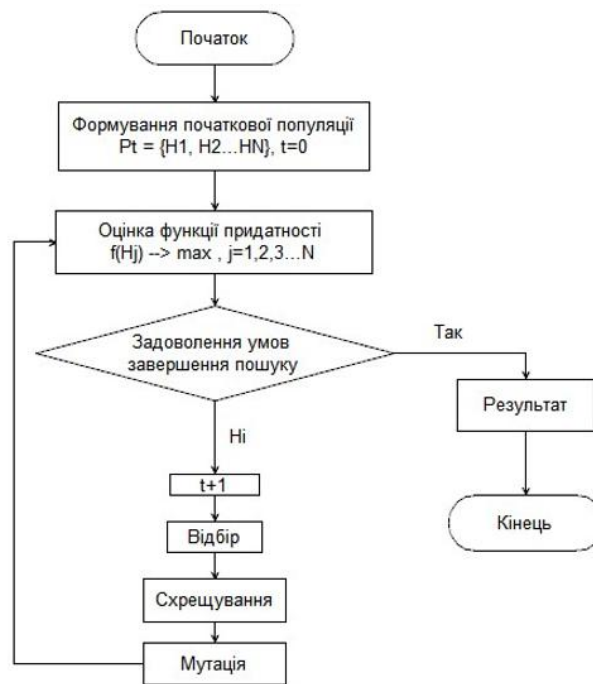


Рис.1. Блок-схема роботи генетичного алгоритму

Основний спосіб взаємодії – кросовер. При кросовері ДНК батьків поділяються на дві частини та обмінюються своїми половинками. При спадкуванні можливі мутації через радіоактивність або інші впливи, в результаті яких можуть змінитися деякі гени в статевих клітинах одного з батьків. Змінені гени передаються нащадку і надають йому нових властивостей. Якщо нові властивості є корисними, то вони, швидше за все, зберуться в цьому виді і при цьому відбудеться стрибкоподібне підвищення пристосованості виду.

Переваги генетичних алгоритмів:

- 1) стійкі до потрапляння в локальні оптимуми;
- 2) добре працюють у разі вирішення масштабних проблем оптимізації;
- 3) використовуються для широкого класу задач;
- 4) прості та прозорі в реалізації;
- 5) можуть використовуватися в задачах зі змінним середовищем.

До недоліків генетичних алгоритмів можна зарахувати значний час роботи алгоритму.

2. Застосування методу генетичного алгоритму в автоматизованій системі розподілу навантаження для викладачів і студентів. Для задачі складання розкладу у блоці занять відображено навчальний план, перелік викладачів, перелік студентських груп, перелік навчальних дисциплін. Блок занять представлено у вигляді двовимірного масиву $Z[i,j]$. Стовпець масиву містить інформацію про викладача, дисципліну, що він викладає, групу, для якої викладає, та тип дисципліни. Отже, блок занять являє собою агрегований об'єкт [11].

На рис. 2 Зображено взаємозв'язок множин «Групи» – «Дисципліни» – «Викладачі».

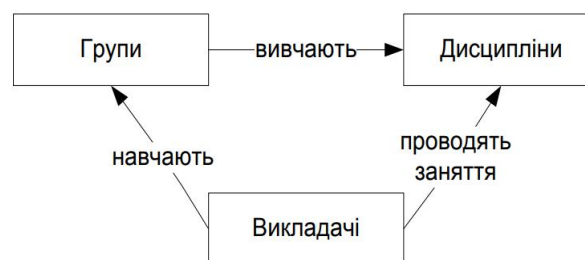


Рис. 2. Взаємозв'язок множин «Групи» – «Дисципліни» – «Викладачі»

Множину блоків занять представлено у такому вигляді:

$$Z = \{Z_i\}, \{Z_i\} = \left\{ Z \frac{i}{p}, Z \frac{i}{d}, Z \frac{i}{g}, Z \frac{i}{t} \right\}$$

де: $Z \frac{i}{p}$ – викладач, що викладає даний блок занять, $Z \frac{i}{p} = \overline{1, N_{pr}}$, N_{pr} – загальне число викладачів;

$Z \frac{i}{d}$ – дисципліна, що викладається в даному блоці занять, $Z \frac{i}{d} = \overline{1, N_{dsc}}$, N_{dsc} – загальне число

дисциплін; $Z \frac{i}{g}$ – навчальна група, для якої проводяться заняття даного блоку, $Z \frac{i}{g} = \overline{1, N_{gpr}}$, N_{gpr} –

загальне число груп; $Z \frac{i}{t} \in \{1, N_{type}\}$ – тип, до якого відноситься дисципліна даного блоку занять (тип

дисципліни відображає її приналежність до математичних, гуманітарних або інших груп дисциплін (вводиться в модель для усунення випадків, коли в один день групі студентів будуть викладатися дисципліни одного типу, що значно зменшує ефективність навчання і сприйняття матеріалу); N_{type} – загальне число типів дисциплін.

Часова сітка занять, кількість пар у дні тижня, кількість учбових днів у тижні задано у блоці часових інтервалів. Блок часових інтервалів представлено у вигляді двовимірного масиву $T[i, j]$. Стовець масиву містить інформацію про тиждень, день і час. Множину часових інтервалів представлено у такому вигляді:

$$T = t_k, t_k = \left\{ t \frac{w}{k}, t \frac{d}{k}, t \frac{p}{k} \right\}$$

де $t \frac{w}{k}$ – номер тижня, $t \frac{w}{k} = \overline{1, N_{wps}}$, N_{wps} – кількість навчальних тижнів у семестрі; $t \frac{d}{k}$ – номер дня

тижня, $t \frac{d}{k} = \overline{1, N_{dpw}}$, N_{dpw} – кількість навчальних днів у тижні; $t \frac{p}{k}$ – номер години протягом дня,

$t \frac{p}{k} = \overline{N_s, N_f}$, N_s – початок навчального дня, N_f – кінець навчального дня.

Доцільно використовувати найбільший відрізок часу, наприклад, з 8:00 до 21:00, оскільки потрібно призначити заняття у найбільш зручний для учасників навчального процесу час, і врахувати, що деякі викладачі можуть надавати перевагу другій половині дня. Побажання викладачів стосовно часу проведення занять задано у блоці переваг викладачів [8]. Блок переваг викладачів представлено у вигляді двовимірного масиву $P[i, j]$. Для кожного викладача є стовпець, який містить інформацію про бажані часові інтервали (години для навчання).

Розклад аудиторних занять представлено у вигляді двовимірного масиву $PA[i, j]$. Для кожного викладача є стовпець, який містить інформацію про часові інтервали, зайняті аудиторними заняттями. Окрім цього важливою вхідною умовою, що може бути врахована у дистанційному навчанні, це часові інтервали, в які викладачі не хочуть або не можуть) проводити заняття.

Ці умови зберігаються у вигляді двовимірного масиву $PX[i, j]$. Для кожного викладача є стовпець, який містить інформацію про небажані часові інтервали. В результаті роботи буде отримано варіант розкладу, що відповідним чином враховує задані умови.

Розклад зберігається у хромосомі, яку представлено у вигляді асоціативного масиву $\$Chromosome[i]$, що зв'язує блок занять та блок часових інтервалів. Індеси масиву – номери блоків занять (посилання на індекс). Значення масиву – номери блоків часових інтервалів. Кожна хромосома особини складається із числа генів, рівних числу блоків занять. Інформаційним наповненням хромосоми є часові інтервали.

Для заданої множини об'єктів T , Z потрібно знайти варіант розкладу, що забезпечує мінімальне значення критерію P втрат якості розкладу

$$P = f(t) = \sum_{i=1}^n [c_i w_i(t)] \rightarrow \min ,$$

де w_i – значення коефіцієнта штрафу за невиконання i -ї частки критерію; c_i – оцінка, що визначає ступінь невиконання i -ї частки критерію; τ – елемент з множини часових інтервалів T .

При цьому необхідно забезпечити виконання всіх заданих обмежень: відсутність накладок всіх типів (для викладачів, навчальних груп, аудиторних і дистанційних занять викладачів), необхідність проведення всіх запланованих на семестр і передбачених навчальним планом занять, врахування часових інтервалів, в які викладачі не можуть проводити заняття. Вимоги, за яких досягається найкращий розклад, можуть бути такими:

- 1) дотримання рівномірності розподілу занять протягом тижня;
- 2) дотримання необхідної відповідності між характером проведених занять і часовим інтервалом його проведення (наприклад, не варто проводити поспіль заняття одного й того самого типу, зокрема, лабораторні);
- 3) врахування побажань викладачів щодо свого розкладу занять; вимоги, що пов'язані із забезпеченням комфортності умов роботи викладачів і навчання студентів даного вузу.

Отже, генетичний алгоритм складання розкладу занять містить такі кроки [12].

1. Формування множини блоків занять.
2. Формування множини часових інтервалів.
3. Формування матриці переваг викладачів.
4. Генерація початкової популяції хромосом.

4.1. Генерація екземпляру хромосоми. Генерація хромосоми – це процес зіставлення блоків занять, що попередньо визначені, з часовими інтервалами. Для кожної зв'язки «викладач-дисципліна-група» призначається відповідний часовий інтервал у відповідний день відповідного тижня. Цей процес проходить випадково для кожного блоку.

4.2. Перевірка згенерованої хромосоми на допустимість. Визначається, чи існують ситуації типу: – «одна група одночасно знаходиться на заняттях у різних викладачів»; – «викладач одночасно проводить аудиторне та дистанційне заняття».

4.3. Якщо таких ситуацій не існує, то утворюється допустимий екземпляр розкладу і додається до початкової популяції.

4.4. Перехід до п. 4.1.

5. Визначення оцінки (штрафу) хромосом у початковій популяції. Оцінка формується, враховуючи, наскільки хромосома не задовольняє умови, що накладаються [13]. Цими умовами можуть бути переваги кожного викладача, рівномірність розподілу занять протягом тижня, відсутність «вікон» у розкладі, відсутність дисциплін однакового типу, що викладаються для однієї групи підряд протягом дня.

6. Вибір найкращої хромосоми з популяції (з меншою оцінкою), а також вибір ще однієї з 10 кращих.

7. Виконання операції кросоверу для обраних двох хромосом. Застосування кросоверу – це обмін ділянками між хромосомами. Тобто, випадковим чином вибирається точка поділу хромосом та відбувається обмін.

8. Перевірка на допустимість отриманих в результаті кросоверу хромосом.

9. Якщо отримано допустимі хромосоми, то вони оцінюються.

9.1. Якщо отримані хромосоми є кращими за існуючі, то їх додають до популяції замість найгірших.

9.2. Якщо отримані екземпляри не є кращими, тоді:

9.2.1 Виконується мутація – внесення випадкових змін у хромосому. Випадковим чином обирається елемент хромосоми, що відповідає за співвідношення «тиждень – день – година» і змінюється відповідно до переваг викладачів. Замість випадково обраної зв'язки «тиждень – день – година» на початковому етапі генерації хромосоми ставиться зв'язка, що якнайкраще враховує побажання відповідного викладача.

9.2.2. Перевірка на допустимість: якщо отримано допустимі хромосоми, то вони оцінюються.

9.2.3. Якщо отримані хромосоми є кращими за існуючі, вони додаються до популяції замість найгірших.

10. Повторення п. 6–9.

11. У будь-який момент можна припинити виконання алгоритму. Результатом роботи буде хромосома з найменшою оцінкою (штрафом).

Висновки

Проведений огляд сучасних систем для автоматизованого формування навчального розкладу доводить, що є потреба у впровадженні нових алгоритмів та підходів, які спроможні вирішити це завдання значно швидше і ефективніше. Традиційними методами дослідження операцій для задач планування є комбінаторні процедури, імітаційне моделювання, мережні методи й евристичні підходи. Досліджено існуючі методи, моделі та алгоритми, виявлено їхні особливості щодо спроможності розв'язання цієї задачі. Запропоновано використання модифікованого генетичного алгоритму, оскільки це надає такі переваги: стійкість до потрапляння в локальні оптимуми; ефективне вирішення завдань оптимізації; швидкість обчислень; проста реалізація алгоритму.

Розроблено модель автоматизованого розподілу навантаження для викладачів та студентів. Запропоновано алгоритм, який реалізовано мовою програмування Java. Результати роботи алгоритму зберігаються у формі, придатній для подальшого оброблення. Керування параметрами роботи алгоритму винесено у конфігураційні файли, що надає можливість ефективнішого використання та внесення оптимізаційних змін у його роботу. Представлену систему реалізовано засобами сучасних мережних веб-технологій, що окрім автоматизації організаційних процесів забезпечує можливість одночасного віддаленого доступу користувачів до інформаційних ресурсів.

1. Budilovskyi D. M. *Optymizatsiia vyrishennia zavdan teorii rozkladiv na osnovi evoliutsiino-henetychnoi modeli rozpodilu zavdan.* – Rostov-na-Donu, 2007. – 200 s. 2. Lopateeva O. M. *Systema avtomatyzovanoho formuvannia navchalnoho rozkladu u vyshchomu navchalnomu zakladi na osnovi evrystychnykh alhorytmiv. Dysertatsiina robota.* – Krasnoiarsk, 2006. 3. Sekirin A. I. *Prohramnyi kompleks dlia modeliuvannia, analizu ta optymizatsii roboty avtomatyzovanykh tekhnolohichnykh kompleksiv obrobky. Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Obchysliuvalna tekhnika ta avtomatyzatsiia. Vypusk 90 – Donetsk, 2010.* 4. Nizamova H. F. *Matematychnе i prohramne zabezpechennia skladannia rozkladu navchalnykh zaniat na osnovi ahrehatnykh henetychnykh alhorytmiv. Referat – Kharkiv, 2012.* 5. Prohrama “Rektor–VNZ”. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://rector.spb.ru/raspisanie-vuz-4u>. 6. Prohrama “Avtomatyzovane skladannia rozkladiv. Universytet”. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.bgs-solutions.com.ua/prices/price>. 7. Prohrama “Halaktyka – Rozklad zaniat”. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://galaktika.ua>. 8. Bezuhlyi M. O., Sekirin O. I. *Metody pidvyshchennia efektyvnosti skladannia rozkladu v umovakh navchalnoho zakladu. Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh “Kompiuterna ta prohramna inzheneriia”.* – Donetskyi natsionalnyi tekhnichniyi universytet, 2015. 9. Bevz S. V. *Rozrobka avtomatyzovanoi systemy formuvannia rozkladu mahistratury. Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna tekhnika No 4, 2009.* – 30–65 s. 10. Babkina T. S. *Zadacha skladannia rozkladu: rishennia na osnovi bahatoahentnoho pidkhodu. Biznes-informatyka.* – 2008. – No 1. – S. 23–28. 11. Snyiuk V. Ie. *Pro osoblyvosti formuvannia tsilovoi funktsii ta obmezhen v zadachi skladannia rozkladu zaniat.* Snyiuk V. Ie., Sipko Ye. N. // *Matematychni mashyny i systemy – 2014.* 12. Dəvyd Kheffelfynher. *Razrabotka prylozhenyi Java EE 6 v NetBeans 7. DMK Press, 2013.* – 330 s. 13. Konkova I.S. *Henetychni alhorytmy v rishenni zavdannia skladannia rozkladu v vuzi. // Problemy informatyky v osviti, upravlinni, ekonomitsi i tekhnitsi: Zb. statei XII Mizhnar. Naukovo-tekhn. Konf. – Penza: PDZ, 2012.* – S. 26–29.