

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЇХ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ВИКЛАДАЧІВ І СТУДЕНТІВ

© Юрчак І. Ю., Москович Т. Р., 2018

Розглянуто методи та підходи до вирішення задачі автоматизованого розподілення навантаження. Подано математичну постановку загальної задачі розподілу. Обґрунтовано вибір методу генетичного алгоритму та розроблено модель автоматизованої системи формування навантаження, яка реалізує методику складання розкладу, орієнтованого на організацію навчального процесу.

**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

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

© Yurchak I., Moskovych T., 2018

There was explored methods and approaches to the solution of the automated workload distribution problem. Implemented a mathematical statement of the general problem of the distribution. Considered a choice of the method of the genetic algorithm and the model of the automated workload distribution system, which implements the method of drawing up a schedule oriented on the organization of the educational process.

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

### Вступ

Складання ефективного навчального розкладу є запорукою оптимального розподілу навантаження викладачів та студентів [1].

Як правило, завданням формування навчального розкладу займається диспетчер, який повинен враховувати певні вимоги для організації навчального плану, розподілення аудиторій для проведення занять, поділ 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 багато часових 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, передачі і використання матеріалів або інформації.

Проблема автоматизованого формування навчального розкладу залишається однією з найактуальніших проблем організації навчального процесу в освітніх системах [3].

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.

Процес автоматизації формування розкладу надає можливості:

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 відносяться до класу NP-повних задач, але і набули широкого практичного поширення. Для знаходження оптимального рішення 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 при збільшенні розмірності задачі призводить до логарифмічного зростання витрачених ресурсів для знаходження рішення. Виникає необхідність в методах, що характеризуються поєднанням поліноміальної залежності часу розрахунку від розмірності задачі і точністю, що наближена до оптимальної [4].

До такого класу методів відносяться еволюційно-генетичні алгоритми, які на сьогоднішній момент є найбільш гнучкими і ефективними зі всіх відомих наближених алгоритмів [1].

Для вирішення завдань складання розкладу досі не знайдено евристичного алгоритму, який за будь-яких вхідних значеннях діяв би однаково ефективно. Для підвищення ефективності алгоритми піддаються модифікації з врахуванням специфіки складання розкладу і вимог до нього. В якості методу складання розкладу пропонується використовувати модифікований генетичний алгоритм, який реалізує всі переваги класичного алгоритму і позбавлений деяких його недоліків.

На даний час існує досить багато систем, що дозволяють складати розклад в автоматизованому режимі. Такі системи розрізняються за функціональністю і гнучкістю.

Основними системами, що дозволяють автоматично складати розклад є такі програмні продукти:

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

В таблиці 1.1 наведено порівняння функціональних можливостей підсистем

Таблиця 1.1.

### 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 в 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.

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

1. Визначити інтелектуальний метод, для 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 вирішення 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'язок задачі

**1. Дослідження та порівняння методів розподілення.** Задачі складання розкладу відносяться 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 вирішення 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 цілочисельного програмування.*

Завдання цілочисельного 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.

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.*

В 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 графа в задану кількість кольорів.

Застосування алгоритму:

- 1) Виділення множини занять в навчальному плані.
- 2) Представлення кожного заняття у вигляді вершини графа.
- 3) З'єднання вершин графа ребрами у разі неможливості одночасного проведення занять.
- 4) Вирішення задачі фарбування графа 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 вирішення будь-якої задачі є наступною. Розділення завдання на дрібніші завдання, для вирішення кожного з яких виділяється агент. Мета агента – знайти рішення свого завдання таке, щоб воно узгоджувалося з рішеннями інших агентів. Агенти домагаються узгодження один з одним шляхом обміну інформаційними повідомленнями.

Застосування алгоритму:

- 1) Розділення глобальної задачі на більш дрібні 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 неможливим стає оцінка впливу значень параметрів для внутрішньої логіки кожного з агентів на результат рішення задачі.

*Метод мурашиної колонії.*

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

Застосування алгоритму:

- 1) Подати завдання у вигляді зваженого графа.
- 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 імітації відпаду.*

Алгоритм імітації відпалу ґрунтується на імітації фізичного процесу, який відбувається при кристалізації речовини з рідкого стану в твердий.

Застосування алгоритму:

- 1) Скласти коректний розклад і задати високе значення температури  $T = T_0$ .
- 2) Змінити розклад  $Z = Z'$ .
- 3) Обчислити цільову функцію для зміненого розкладу  $\Delta = f(Z') - f(Z)$ .
- 4) Замінити попередній розклад отриманим, якщо він є кращим за попередній ( $\Delta \leq 0$ ), якщо ні, то ймовірність заміни  $p = e^{-\Delta/T}$ .

5) Зменшити температуру.

6) Доки не виконано критерій зупинки перехід до пункту 2.

Недоліки:

1) Малоефективний для складання розкладів у сучасних системах масової освіти через велику розмірність задачі.

2) Для отримання ефективного вирішення необхідно застосовувати схему Больцмана, або Коши, що призводить до значних витрат обчислювальних потужностей.

*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 таке рішення знайдено, воно стає поточним і починається нова ітерація. Так триває, доки приріст цільової функції не зменшиться практично до нуля або не виконається задане число ітерацій [10].

Очевидно, що такі методи орієнтовані на пошук лише локальних оптимумів, до того ж розташування знайденого оптимуму залежить від стартової точки. Глобальний оптимум може бути знайдений лише випадково. Для збільшення ймовірності знаходження глобального оптимуму використовується множинний експеримент з різними початковими точками, що суттєво збільшує час пошуку. У зв'язку з цим представляє інтерес розробка алгоритмів, які б зберігали переваги описаних методів і не мали би вказаного недоліку. Саме до таких відносяться генетичні алгоритми. Тому вони були обрані 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 передачі генетичної інформації нащадки успадковують від батьків основні їх якості.

На рис.1 представлено основний принцип роботи генетичного алгоритму.

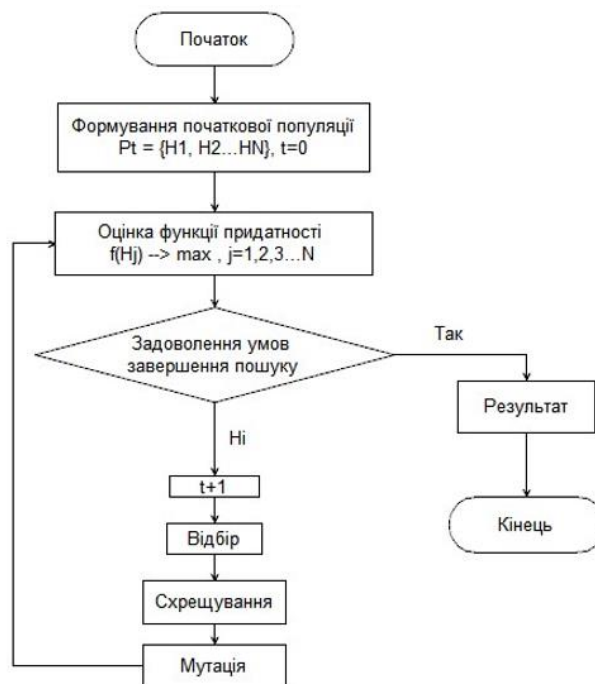


Рис.1. Блоксхема роботи генетичного алгоритму

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, збережуться в даному виді і при цьому відбудеться стрибкоподібне підвищення пристосованості виду.

Переваги генетичних алгоритмів:

- 1) Стійкі до попадання в локальні оптимуми.
- 2) Добре працюють при вирішенні 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 лише віднести 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 учбових груп, перелік учбових дисциплін. Блок занять представлено у вигляді двохвимірному масиву  $Z[i,j]$ . Стовпець масиву містить інформацію про викладача, дисципліну, що він викладає, групу, для якої викладає, та тип дисципліни. Таким чином, блок занять представляє собою агрегований об'єкт [11].

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

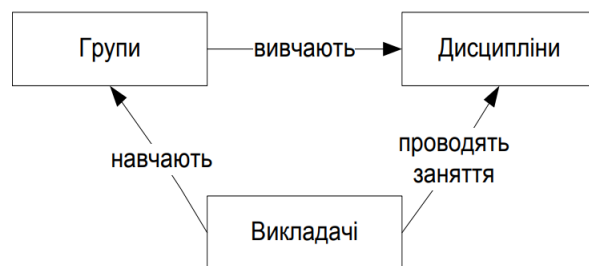


Рис.2. Взаємозв'язок множин «Групи» – «Дисципліни» – «Викладачі»

Множину блоків занять представлено у такому вигляді:  $Z = \{Z_i\}$ ,

$$\{Z_i\} = \left\{ Z_{\frac{i}{p}}, Z_{\frac{i}{d}}, Z_{\frac{i}{g}}, Z_{\frac{i}{t}} \right\} \quad (1)$$

де:

$$Z_{\frac{i}{p}} - \text{викладач, що викладає даний блок занять, } Z_{\frac{i}{p}} = \overline{1, N_{pr}} \quad (2)$$

$N_{pr}$  – загальне число викладачів;

$$Z_{\frac{i}{d}} - \text{дисципліна, що викладається в даному блоці занять, } Z_{\frac{i}{d}} = \overline{1, N_{dsc}} \quad (3)$$

$N_{dsc}$  – загальне число дисциплін;

$$Z_{\frac{i}{g}} - \text{навчальна група, для якої проводяться заняття даного блоку, } Z_{\frac{i}{g}} = \overline{1, N_{gpr}} \quad (4)$$

$N_{gpr}$  – 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 двохвимірному масиву  $T[i,j]$ .

Стовпець масиву містить інформацію про тиждень, день і час. Множину часових інтервалів представлено у такому вигляді:  $T = t_k, t_k = \{ t_{\frac{w}{k}}, t_{\frac{d}{k}}, t_{\frac{p}{k}} \}$  (5)

де:

$$t_{\frac{w}{k}} - \text{номер тижня, } t_{\frac{w}{k}} = \overline{1, N_{wps}} \quad (6)$$

$N_{wps}$  – число навчальних тижнів у семестрі;

$$t_{\frac{d}{k}} - \text{номер дня тижня, } t_{\frac{d}{k}} = \overline{1, N_{dpw}} \quad (7)$$

$N_{dpw}$  – число навчальних днів у тижні;

$$t_{\frac{p}{k}} - \text{номер години протягом дня, } t_{\frac{p}{k}} = \overline{N_s, N_f} \quad (8)$$

$N_s$  – початок навчального дня,

$N_f$  – кінець навчального дня.

Доцільно використовувати найбільший відрізок часу, наприклад, з 8:00 до 21:00, адже потрібно призначити заняття у найбільш зручний для учасників навчального процесу час, а деякі викладачі можуть надавати перевагу другій половині дня. Побаження викладачів стосовно часу проведення занять задано у блоці переваг викладачів [8]. Блок переваг викладачів представлено у вигляді двохвимірного 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 двохвимірного 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 хотіли б (не можуть) проводити заняття.

Ці умови зберігаються у вигляді двохвимірного 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. Індeksi 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  $P = f(\tau) = \sum_{i=1}^N c_i w_i(\tau) \rightarrow \min$  (9)

Де:

$w_i$  – значення коефіцієнта штрафу за невиконання  $i$ -ї частки критерію,

$c_i$  – оцінка, що визначає ступінь невиконання  $i$ -ї частки критерію,

$\tau$  – 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 наступними:

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 ж типу, зокрема, лабораторні).

3) Врахування побажань викладачів щодо свого розкладу занять, вимоги, зв'язані із забезпеченням комфортності умов роботи викладачів і навчання студентів даного вузу.

Отже, генетичний алгоритм складання розкладу занять містить наступні 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 виходячи з того, наскільки хромосома не задовольняє умовам, 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 групі 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 хромосом 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 існуючих, то вони додаються до популяції замість найгірших.

9.2) Якщо отримані екземпляри не є кращими, тоді:

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

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

9.5) Якщо отримані хромосоми є кращими за існуючі, вони додаються у популяцію замість найгірших.

10) Повторення п. 6-9.

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

## Висновки

У науковій роботі проведено аналіз існуючих методів, моделей і алгоритмів розв'язання задачі складання ефективного навчального розкладу. Виявлено їх позитивні та негативні сторони, обгрунтовано вибір генетичного алгоритму. Розроблено модель автоматизованого розподілу навантаження для викладачів та студентів. Здійснено порівняльний аналіз подібних програмних застосунків для формування навчального розкладу. 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. Розроблена система реалізована засобами сучасних мережних веб-технологій з метою автоматизації організаційних процесів та забезпечення можливості одночасного віддаленого доступу користувачів до інформаційних ресурсів.

*1. Budilovskyi D. M. Optyimizatsiia 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 optyimizatsii roboty avtomatyzovanykh tekhnolohichnykh kompleksiv obrobky. Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Obchysliuvalna tekhnika ta*



avtomatyzatsiia. Vypusk 90 – Donetsk, 2010., 4. Nizamova H. F. Matematychni 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 «Avtomatyzovalane 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–tekhnicna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh "Kompiuterna ta prohramna inzheneriia. – Donetskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet, 2015., 9. Bevz S. V. Rozrobka avtomatyzovaloi systemy formuvannia rozkladu mahistratury. Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna tekhnika №4, 2009 – 30-65 s., 10. Babkina T.S. Zadacha skladannia rozkladu: rishennia na osnovi bahatoahentnoho pidkhodu. Biznes-informatyka. – 2008. – №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. Razrobotka 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.