

## МЕТОДИКА СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ НА ПАРНІ ТА НЕПАРНІ ТИЖНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

М. В. Полякова, К. Ю. Тарнавська

*Державний університет «Одеська політехніка»*

**Анотація.** Напрямок застосування генетичних алгоритмів є складання розкладу в умовах додаткових обмежень. Це скорочує область допустимих рішень, звужує область стохастичного пошуку генетичного алгоритму і може привести до отримання неефективного рішення. Тому авторами запропоновано завдання складання розкладу уявити системою завдань меншої розмірності, а саме, складання розкладу занять, які проводяться щотижня і по непарних тижнях, а також складання розкладу занять, які проводяться по парних тижнях. Розроблено методику, яка вирішує кожну з цих задач за допомогою генетичного алгоритму.

**Ключові слова:** генетичний алгоритм, складання розкладу, оператор схрещування, оператор мутації, функція пристосованості.

### Вступ

Однією із задач планування навчального процесу у вищих навчальних закладах (ВНЗ) є складання розкладу. Від того, наскільки добре складено розклад, залежить ефективність роботи викладачів, засвоєння навчального матеріалу студентами, раціональне використання інтелектуальної та матеріальної бази ВНЗ. Також добре складений розклад забезпечує рівномірне навантаження студентських груп і професорсько-викладацького складу.

Без використання обчислювальної техніки завдання складання розкладу вимагає великих витрат часу, залучення кваліфікованих фахівців, в той же час результат такого рішення може виявитися далеким від оптимального. Водночас не можна повністю виключити людину з процесу складання розкладу, особливо коли виникають ситуації, що потребують змінень вхідних даних або ослаблення обмежень.

Необхідні вхідні дані для складання навчального розкладу у ВНЗ включають: списки груп студентів та дисциплін, що вивчаються, навчальне навантаження на групи, список викладачів, які можуть читати означені дисципліни в заданих групах. Отже завдання складання розкладу полягає в розподілі заданого кінцевого набору подій у часі. При цьому необхідно врахувати обмеженість ресурсів і інші можливі обмеження: максимальну кількість занять в день; один викладач не може вести у двох груп одночасно; група не може мати більше одного заняття одночасно. Одним з поширених обмежень при складанні розкладу занять є мінімізація кількості «вікон» у студентів. До того ж в багатьох україн-

ських ВНЗ використовується система з розподілом розкладу занять на парні та непарні тижні. Тому виникає необхідність автоматизації складання розкладу занять у ВНЗ з означеними вимогами.

### 1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Складання розкладу можна розглядати як оптимізацію використання обмежених ресурсів – викладацького складу і аудиторного фонду. Оскільки всі фактори, що впливають на розклад, практично неможливо врахувати, а інтереси учасників навчального процесу різноманітні, задача складання розкладу є багатокритеріальною з нечіткою множиною факторів. Рішення таких задач, як правило, здійснюється в два етапи: отримання оптимального (з точки зору використаних критеріїв) варіанту і його подальша обробка людиною (методистом) з метою врахування неформалізованих факторів.

Якщо навчальні плани складені таким чином, що дисципліни викладаються один раз на тиждень або через тиждень і суперечливість вимог усунено, то до вирішення задачі складання розкладу в літературі застосовано методи лінійного цілочисельного програмування [1-6]. Ці методи мають високу ступінь формалізації як самого завдання, так і використаних алгоритмів. Інтереси суб'єктів навчального процесу враховуються у вигляді обмежень або критеріїв оптимальності [6]. Однак методи лінійного цілочисельного програмування характеризуються експоненціальним збільшенням витрат часу на пошук прийняттого рішення з ростом розмірності розв'язуваної задачі; відсутністю гарантії отримання прийняттого рішення; складністю

формалізації обмежень, високими вимогами до кваліфікації користувача [1].

Щоб уникнути цього, застосовується імітаційне моделювання [3], яке оперує безпосередньо розкладом і списком занять, які необхідно включити в розклад (навчальним планом). Моделювання починається з порожнього розкладу, коли всі заняття знаходяться в списку неврахованих занять, переходить від одного незакінченого розкладу до іншого, намагаючись найкращим чином розставити всі заняття, що включено в список. Процес триває, поки не буде сформовано повний розклад або не виконано фіксовану кількість ітерацій.

Під час імітаційного моделювання особлива увага приділяється розробці евристичних правил вибору чергового заняття зі списку, визначення найкращої для нього позиції в розкладі та оцінці одержуваного розкладу. До позитивних рис такого підходу можна віднести можливість детального врахування специфіки розв'язуваної задачі в разі складання розкладу для конкретного ВНЗ. Однак при цьому сильно обмежується можливість застосування розробленої системи в інших навчальних закладах. Крім того, очевидно, знадобиться вносити істотні зміни в алгоритм при незначних внутрішніх змінах у ВНЗ [3].

У агентних методах ролі організаторів виконують агенти викладачів, ролі учасників виконують агенти навчальних груп і агент аудиторій – один для кожного розкладу [7]. Пошук часу і місця для проведення заняття здійснюється через діяльність агента викладача, а саме через відправку і отримання різних типів повідомлень агентам навчальних груп і агентам аудиторій. Якщо не всі агенти прислали відповідь протягом деякого часу, то агент викладача поміщає заняття в список скасованих занять, потім він спробує заново знайти для нього місце в розкладі. Після того, як всі агенти викладачів завершать пошук розкладу своїх занять, загальний розклад вважається укладеним. Повний розклад всіх занять іноді просто не існує. Тоді все одно буде знайдено частковий розклад, менш пріоритетні заняття будуть автоматично відкинуті. До недоліків агентних методів відносять значне збільшення часових витрат з ростом розмірності задачі, неможливість оцінки впливу обмежень на рішення задачі, необов'язкове отримання прийнятного розкладу занять.

Проаналізовані методи складання розкладу у ВНЗ характеризуються значними затратами часу, складністю формалізації обмежень, а також не забезпечують досягнення прийнятного рішення. Більшості цих недоліків позбавлені методи складання розкладу на основі метаевристик [8]. До

цих методів відносять методи еволюційного пошуку [7], зокрема, оптимізації рою частинок [9], і генетичні алгоритми [10-12]. Генетичні алгоритми застосовують як евристичний, так і переборний пошук в декількох напрямках у просторі рішень, що дозволяє знайти рішення, близьке до оптимального, за короткий час. Ефективність рішення зростає при збільшенні кількості ітерацій [10-12].

У літературі, присвяченій складанню розкладу в ВНЗ за допомогою генетичних алгоритмів простежуються три напрямки досліджень. Перший напрямок досліджень акцентує увагу на технологічні особливості складання розкладу на основі існуючих генетичних алгоритмів. Так, в [10] для побудови розкладу занять у ВНЗ застосовано генетичний алгоритм і технологію обчислень Grid. Розроблено структуру особини, описано три типи паралельних генетичних алгоритмів, виділено критерії оцінки якості й налаштування цих алгоритмів. В [11, 12] розроблено системи складання розкладу занять для конкретних ВНЗ з використанням генетичних алгоритмів. Застосування цих систем показало підвищення ефективності рішення при збільшенні числа ітерацій.

До другого напрямку досліджень пропонується віднести роботи, присвячені розробці нових генетичних алгоритмів, що підвищують ефективність вирішення завдання складання розкладу ВНЗ в класичній постановці. Мається на увазі розподілення груп студентів, викладачів і аудиторного фонду згідно з навчальним планом і закріпленням викладачів. Наприклад, в [13] для підвищення ефективності розв'язання задачі складання розкладу запропоновані два генетичних алгоритми. У першому алгоритмі послідовно використовуються дві функції пристосованості – функція, яка мінімізує загальний час занять, і функція, яка контролює виконання навчального плану. Другий генетичний алгоритм використовує дублювання завдань для розпаралелювання обчислень. В [14] запропонований нечіткий евристичний генетичний алгоритм, який використовує неявне уявлення пріоритетів подій і локальний пошук в просторі рішень. Моделі на основі нечітких множин дозволяють врахувати у функції пристосованості порушення обмежень, обумовлених об'єктивною невизначеністю завдання складання розкладу і невизначеністю вихідних даних цього завдання. Недоліком генетичного алгоритму роботи [14] є висока обчислювальна складність.

У третій напрямку доцільно виділити роботи, в яких при формулюванні завдання складання розкладу вводяться додаткові обмеження, що

відображають специфіку кожного конкретного випадку. Так, в [15] був розроблений генетичний алгоритм для вирішення задачі складання розкладу в умовах браку аудиторного фонду, що знаходило відображення в появі великої кількості додаткових обмежень. У [16] вирішувалося завдання складання розкладу лабораторних занять зі значним числом формалізованих обмежень. Запропоновано відповідно такій постановці завдання метод уявлення і визначення рішення за допомогою генетичного алгоритму і локального пошуку. У [17] вирішувалося завдання складання розкладу з додатковими обмеженнями, обумовленими наявністю дисциплін за вибором студентів. Так як існуючі методи складання розкладу не справлялися з цим завданням, був розроблений спеціальний генетичний алгоритм на основі моделі локалізованого острова для складання розкладу занять з урахуванням дисциплін за вибором студентів.

## 2. Постановка задачі

Проведений аналіз літератури показав, що переваги генетичних алгоритмів полягають в тому, що вони здійснюють стохастичний пошук близького до оптимального рішення, ефективність якого зростає при збільшенні кількості ітерацій. Однак в ряді випадків особливості конкретних додатків завдання складання розкладу обумовлюють появу додаткових обмежень для даного завдання. Як наслідок, зменшується кількість допустимих варіантів розкладу в результаті застосування генетичних операторів. Недостатня різноманітність початкових і поточних варіантів розкладу може привести до передчасного завершення роботи алгоритму і, як наслідок, отримання некоректного рішення. Саме цей недолік виникає в процесі застосування генетичних алгоритмів для створення розкладу з розподілом занять по парних і непарних тижнях. Подібна проблема при вирішенні задачі складання розкладу методами лінійного цілочисельного програмування у випадках, коли це було можливо, вирішувалося розбиттям завдання складання розкладу на систему завдань меншої розмірності [1, 2]. Наприклад, виділялися завдання складання розкладу занять з фізичного виховання або іншим видам занять, що проводяться поза аудиторного фонду вузу; навантаження кожного потоку по днях тижня; навантаження викладачів по робочих днях з урахуванням видів занять для потоків і груп.

Тому у даній роботі щоб уникнути означеного недоліку доцільно виконати розбиття задачі

складання розкладу на систему завдань меншої розмірності, а саме, складання розкладу щотижневих занять та занять по непарним тижням, а також складання розкладу занять за парними тижнями. Після цього генетичний алгоритм застосовується для розв'язання кожного з отриманих завдань.

Отже метою роботи є розробка та дослідження методики складання розкладу, розподіленого на парні та непарні тижні, за допомогою генетичного алгоритму. При цьому необхідно забезпечити проведення всіх занять навчального плану з мінімальною кількістю «вікон» для студентів.

## 3. Методика складання розкладу у ВНЗ з розподіленням на парні та непарні тижні за допомогою генетичного алгоритму

Пропонується методика складання розкладу у ВНЗ, яка передбачає застосування генетичного алгоритму спочатку для складання розкладу для занять, що проводяться щотижня та за непарними тижнями, а потім використання того ж генетичного алгоритму для доповнення вже отриманого розкладу заняттями, що проводяться за парними тижнями. Розглянемо етапи цієї методики докладніше.

### 3.1. Підготовка даних

Початковими даними є робочий навчальний план, що включає назви дисциплін та кількість аудиторних годин на семестр для кожної дисципліни. Також додаються вхідні дані викладачів з прізвищами та ініціалами і дисциплінами, які вони можуть викладати. Як приклад наведено фрагмент робочого навчального плану 4-го курсу спеціальності «Прикладна математика» ОНПУ за 2020/2021 навчальний рік (рис. 1) та вхідні дані викладачів, що забезпечують цю спеціальність (рис. 2). Формується список навчальних груп  $G$ , множина дисциплін  $D$  з прізвищами і ініціалами викладачів і множина навчальних пар  $T$  – допустимих часових інтервалів проведення занять, що включають день та час проведення занять.

Для побудови розкладу, розподіленого на парні та непарні тижні, для кожної дисципліни враховується обсяг аудиторних занять на семестр: лекційних, практичних та лабораторних. Враховуючи, що всього у семестрі 15 тижнів, а дві академічні години утворюють пару академічних годин, то  $15 \times 2 = 30$  аудиторних годин – це одна пара щотижня. Випадки, коли пара проводиться лише по парним або лише по непарним тижням у навчальному плані відображаються у вигляді 14 та 16 аудиторних годин на семестр відповідно.

№ з/п	Шифр за НП	Освітні компоненти	8 семестр 12 навчальних тижнів										Кафедра, що забезпечує викладання	
			Всього	Обсяг ауд занять				самостійна робота	курсові роботи	ртр, рр	К-ть кредитів ЕКТС	форми контролю		
				всього	лекції	практичні	лабораторні					екзамени		залік
1	ПП 1.3.6	Бази даних та проектування інформаційних систем	120	48	24		24	72		prp	4,0	Е		ПМТ
2	ПП 1.3.8	Обчислювальна геометрія та комп'ютерна графіка	105	72	36		36	33		prp	3,5	Е		ПМТ
3	ПП 1.3.10	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	90	36	24		12	54			3,0	Е		УСБЖД
4	ПП2.2.10	Нейронні мережі	90	36	24		12	54		prp	3,0	Е	3	ПМТ
5	ПП 2.2.1	Методи шпучного інтелекту	105	72	36		36	33			3,5	Е		ПМТ
6	МПН2.2.12	Спеціальні мови програмування	120	48	24		24	72	КР		4,0		3	ПМТ
7	ГСЕ2.2.13	Математична економіка	90	36	24	12		54			3,0	Е		ПМТ
8	ПП 1.3.14	Дипломна робота (проект)	180					180			6,0			ПМТ
		<b>ВСЬОГО</b>	900	348	192	12	144	552	1	3	30,0	5	2	
		<i>додатково для іноземців</i>												
		Українська (російська) мова												УРМ

Рис. 1. Робочий навчальний план

**Закріплення  
кафедри прикладної математики та інформаційних технологій на 2020/2021  
навчальний рік (весна)**

Дисципліна	Групи	Лекції	Практичні	Лабораторні	Звітність
Математичний аналіз	АВ-201	Юрченко М.О.	Юрченко М.О.		іспит
Алгебра і геометрія	АВ-201	Гуляева Н.А.	Гуляева Н.А.		іспит
Об'єктно-орієнтоване програмування	АВ-201	Нестерюк О.Г.		Нестерюк О.Г.	іспит
Комп'ютерні мережі	АВ-201	Павлов О.О.		Павлов О.О.	залік
Об'єктно-орієнтований аналіз та проектування	АВ-201	Волкова Н.П.		Волкова Н.П.	іспит
Математичний аналіз	АВ-191	Юрченко М.О.	Юрченко М.О.		іспит
Дискретна математика	АВ-191	Гришина В.О.	Гришина В.О.		іспит

Рис. 2. Вхідні дані викладачів

Така різниця обумовлена тим, що у семестрі усього 15 тижнів, отже непарних тижнів більше, ніж парних. Якщо у навчальному плані вказано 46 аудиторних годин – це означає, що 1 пара буде проводитися щотижня та одна лише по непарним тижням. Аналогічно, 44 аудиторні години – 1 пара буде проводитися щотижня та одна лише по парним тижням. Якщо в початковому плані вказано 30, 60, 90 аудиторних годин, то щотижня буде проведено 1, 2, 3 пари відповідно.

Тому для кожної навчальної групи множина дисциплін  $D$  розбивається на дві підмножини, що в загальному випадку перетинаються:  $D_{\text{непар}} \subseteq D$  і  $D_{\text{пар}} \subseteq D$ . Підмножина  $D_{\text{непар}}$  включає дисципліни, які викладаються щотижня і / або по непарних тижнях. Підмножина  $D_{\text{пар}}$  включає дисципліни, які викладаються тільки по парних тижнях.

Наприклад, якщо згідно з навчальним планом на дисципліну відведено 44 години лекцій-

них занять, то лекції з цієї дисципліни один раз заносяться в множину  $D_{\text{непар}}$  і один раз – у множину  $D_{\text{пар}}$ , так як одна пара проводиться щотижня, а одна – по парних тижнях. Якщо ж на дисципліну відведено 46 години лабораторних занять, то лабораторні з цієї дисципліни 2 рази заносяться в множину  $D_{\text{непар}}$ , так як одна пара проводиться щотижня, а одна – по непарних тижнях.

**3.2. Застосування генетичного алгоритму до складання розкладу занять, що проводяться щотижня та по непарних тижнях**

Далі наступні етапи генетичного алгоритму для задачі складання розкладу (рис. 3) застосовувалися до множини дисциплін  $D_{\text{непар}}$  та всієї множини навчальних пар  $T$  – допустимих часових інтервалів проведення занять.

Етап 1. Створення початкових варіантів розкладу. Початкова популяція для генетичного ал-

горитму являє множину варіантів розкладу, які задовольняють усім обмеженням. Для створення кожного початкового варіанту розкладу кожній дисципліні з множини дисциплін кожної групи випадковим чином ставиться у відповідність часовий інтервал з множини допустимих часових інтервалів.

Етап 2. Оцінювання варіантів розкладу. Популяція, яку створено на першому етапі генетичного алгоритму повинна відповідати формату варіантів розкладу, щоб на них можна було підрахувати функцію пристосованості. Функція пристосованості при складанні розкладу занять – це функція від числа порушення обмежень. Являє собою суму штрафів за некоректне призначення занять часовим інтервалам. Зокрема, в даній роботі при визначенні функції пристосованості враховувалася кількість «вікон» в розкладі студентів.

Етап 3. Вибір варіантів розкладу для схрещування. Розмноження в генетичних алгоритмах вимагає для отримання нащадків пару батьків. Функція пристосованості видає кожній особині покоління число, що показує її корисність, пристосованість. Це значення впливає на відбір (селекцію): чим більше у особини це значення, тим більше у неї ймовірність знайти пару для схрещування (і навіть не одну). Ймовірність обрання варіанту розкладу для схрещування розраховувалася як значення функції пристосованості, нормоване сумою значень цієї функції для всіх варіантів розкладу популяції. При такому відборі розклад з більшою оцінкою буде частіше обиратися, так як ймовірність більша. В результаті отримуємо пару батьків з одною з кращих оцінок значення функції пристосованості.

Етап 4. Створення нових варіантів розкладу шляхом схрещування. Оператор схрещування (кросовера) розбиває варіант розкладу  $a$  на дві частини та змішує з частиною іншого варіанту розкладу – розкладу  $b$  [16]. Для цього з варіанту розкладу  $a$  до нащадку копіюється обрана випадковим чином частина. Далі формується набір занять, які не увійшли до розкладу нащадку. Для кожного заняття з цього набору визначається часовий інтервал в розкладі  $b$  та до цього часового інтервалу заняття додається в розклад нащадку. Перевіряються обмеження на розклад. Якщо вони не порушуються, то обробляється наступне заняття, інакше часовий інтервал заняття, що розглядається, визначається випадково і знов перевіряються обмеження на розклад. Якщо вони порушуються, цей нащадок відкидається і формується наступний, якщо не порушуються – та-

кож переходимо до обробки наступного заняття з визначеного набору [16].

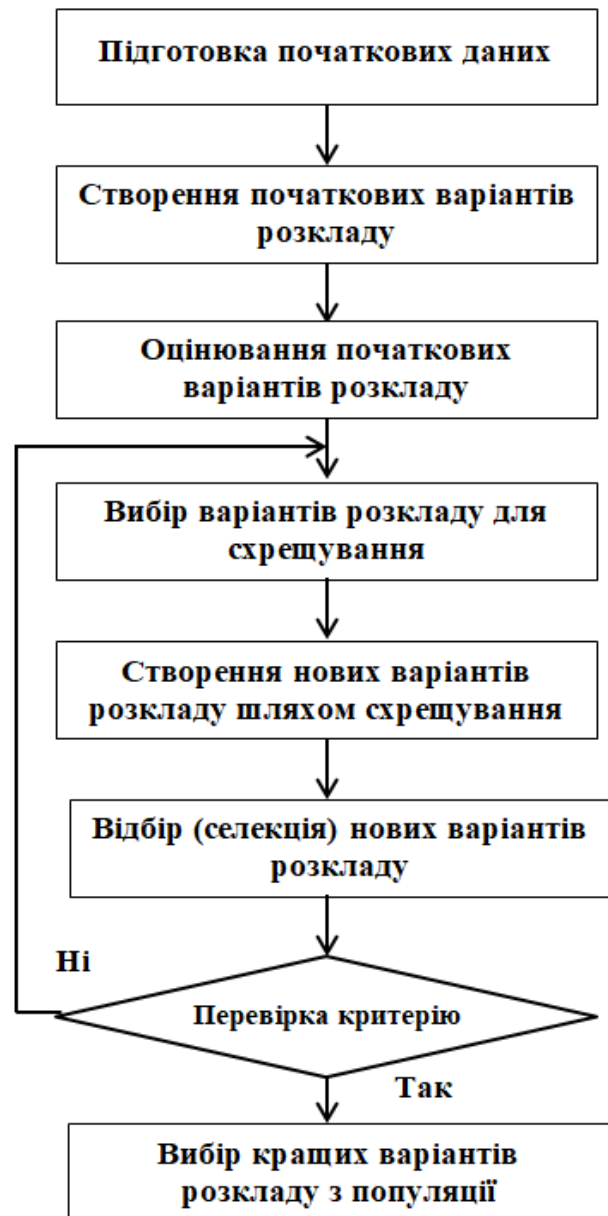


Рис. 3. Схема генетичного алгоритму для складання розкладу

Етап 5. Створення нових варіантів розкладу за допомогою мутації. Для вирішення проблеми виродження популяції було введено мутацію, яка змінює довільне число елементів особини на інші довільні і вносить щось нове в генетичну різноманітність. Тобто, для мутації при створенні розкладу обирається натуральне число  $n$  із заданого інтервалу натуральних чисел [16]. Далі  $n$  раз повторюються наступні дії. У поточному варіанті розкладу випадково обирається заняття  $e$ . Відповідний йому часовий інтервал звільнюється та заняття  $e$  переміщується в інший випадково обраний часовий інтервал в розкладі за умови дотримання обмежень [16].

Етап 6. Оцінка нових варіантів розкладу. На етапі відбору потрібно з усієї множини можливих варіантів розкладу вибрати певну її частку  $s$ , яка залишиться «в живих» на цьому етапі еволюції. Виконується оцінка нових варіантів розкладу за допомогою функції пристосованості.

Етап 7. Перевірка критерію зупинки алгоритму. Якщо виконано один з критеріїв зупинки алгоритму, то вибирається рішення з найбільшою оцінкою (значенням функції пристосованості) і алгоритм завершується. В іншому випадку, якщо критерій зупинки алгоритму не виконано, повертаємось до етапу 3 та проводимо селекцію знову, поки критерій не буде виконано.

В результаті застосування генетичного алгоритму створюється розклад занять для дисциплін, які проводяться щотижня і по непарних тижнях.

### **3.3. Застосування генетичного алгоритму до складання розкладу занять, що проводяться по парних тижнях**

Для складання розкладу занять по парних тижнях формується множина  $T_{\text{пар}} \subseteq T$  допустимих часових інтервалів, що залишилися незайнятими після складання розкладу занять, які проводяться щотижня і по непарних тижнях. Далі генетичний алгоритм застосовується до множини дисциплін  $D_{\text{пар}}$  і множини допустимих часових інтервалів  $T_{\text{пар}}$ . Формується розклад занять для дисциплін, які проводяться по парних тижнях.

### **3.4. Об'єднання розкладу занять, що проводяться по парних тижнях з розкладом занять, що проводяться щотижня та по непарних тижнях**

Об'єднуємо розклади занять, отримані для парних і непарних тижнів. Таким чином отримуємо розклад занять з розподілом на парні та непарні тижні (рис. 4).

## **4. Проведення експериментальних досліджень розробленої методики складання розкладу**

Експериментальні дослідження розробленої методики складання розкладу на парні та непарні тижні проводилися на вищезазначеному прикладі вирішення цього завдання для спеціальності «Прикладна математика» ОНПУ за 2020/2021 навчальний рік. В якості характеристик розробленої методики оцінювалися кількість вікон у складеному розкладі та час, що витрачено на створення розкладу. За кількістю вікон розроблена методика порівнювалась з [18], де розклад складався також за допомогою генетич-

ного алгоритму, але без врахування парних та непарних тижнів. Після 20 експериментів кількість вікон у розкладах, отриманих за допомогою розробленої методики склала від 0 до 2 з середнім значенням 0,75; медіаною – 0,75. Кількість вікон у розкладах, отриманих за допомогою методики [18] змінювалась від 0 до 4 з середнім значенням 1,8; медіаною – 2. Кількість вікон під час складання розкладу співробітником навчального відділу за тими же умовами експерименту виявилось в межах від 0 до 1 із середнім значенням 0,2; медіаною – 0. Отже застосування розробленої методики дозволило знизити кількість вікон більш, ніж в 2 рази у порівнянні з [18], але поступається складанню розкладу вручну.

До того ж розроблена методика потребує значно менше часу на складання розкладу, ніж створення розкладу вручну співробітниками навчального відділу. Так на створення розкладу трьох навчальних груп співробітник навчального розкладу витрачає приблизно 12 годин робочого часу, в той час як додаток на основі розробленої методики потребує для вирішення того ж завдання 7,2 с; а додаток на основі роботи [18] близько 4,7с. Дослідження проводилися з використанням процесора Intel Core i5-7400, 3 GHz CPU, пам'ять 16GB, операційна система Windows 10, 64 бітова. Таким чином, додаток на основі [18] потребує в 1,5 рази менше часу для складання розкладу, але поступається запропонованій методиці за кількістю «вікон».

## **Висновки**

В результаті аналізу літератури було виділено основні методи складання розкладу занять у ВНЗ: цілочисельне лінійне програмування, метод розмальовки вершин графа, імітаційне моделювання, агентні методи. Проаналізовані методи складання розкладу, відомі з літератури, характеризуються значними витратами часу, складністю формалізації обмежень і не забезпечують досягнення прийнятного рішення. Більшості цих недоліків дозволяють уникнути генетичні алгоритми, які використовують пошук за кількома напрямками в просторі рішень і за короткий час знаходять рішення, близьке до оптимального.

Одним з напрямків застосування генетичних алгоритмів є складання розкладу в умовах додаткових обмежень, зумовленими, наприклад, нестачею аудиторного фонду, дисциплінами за вибором студентів, розподілом занять по парних і непарних тижнях та ін. Подібні особливості конкретної постановки задачі складання розкладу призводять до скорочення області допустимих рішень.

	A	B	C	D	E
1	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця
2	Бази даних   Корнілова С.В.	*FREE*	Економетрія   Юхименко Б.І.	Економетрія   Юхименко Б.І.	*FREE*
3	Теорія ігор   Волкова Н.П.	Тестування ПЗ   Козіна Ю.Ю.	Теорія розпізнавання образів   Крилов В.М.	Математична економіка   Діленко В.О.	Методи оптимізації   Юхименко Б.І.
4	Бази даних   Корнілова С.В.	Тестування ПЗ   Козіна Ю.Ю.	Математична економіка   Діленко В.О.	*FREE*	Нелінійна алгебра   Востров Г.М.
5	*FREE*	Теорія ігор   Волкова Н.П.	Спеціальні мови програмування   Денісенко Т.О.	*FREE*	*FREE*
6					
7	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця
8	Бази даних   Корнілова С.В.	*FREE*	*FREE*	Економетрія   Юхименко Б.І.	*FREE*
9	Теорія ігор   Волкова Н.П.	Тестування ПЗ   Козіна Ю.Ю.	Теорія розпізнавання образів   Крилов В.М.	Спеціальні мови програмування   Денісенко Т.О.	Методи оптимізації   Юхименко Б.І.
10	Бази даних   Корнілова С.В.	Тестування ПЗ   Козіна Ю.Ю.	Математична економіка   Діленко В.О.	*FREE*	Нелінійна алгебра   Востров Г.М.
11	*FREE*	Теорія розпізнавання образів   Крилов В.М.	Спеціальні мови програмування   Денісенко Т.О.	*FREE*	Нелінійна алгебра   Востров Г.М.
12					

Рис. 4. Результат застосування генетичного алгоритму до складання розкладу занять: верхній розклад – для парних тижнів, а нижній – для непарних

Наслідком останнього може бути зменшення кількості варіантів розкладу в початковій популяції генетичного алгоритму і варіантів розкладу, які одержано в результаті схрещування і мутації. Обмежене число варіантів рішення звужує область стохастичного пошуку генетичного алгоритму і може привести до отримання неефективного рішення.

Щоб зменшити вплив цього недоліку, розроблено методику, яка складає розклад занять з розподілом на парні та непарні тижні на основі генетичного алгоритму. Згідно розробленій методиці генетичний алгоритм застосовується два рази: одного разу для складання розкладу для занять, що проводяться щотижня та за непарними тижнями, другого разу – для доповнення вже отриманого розкладу заняттями, що проводяться за парними тижнями.

Мінімізація кількості «вікон» для студентів забезпечується відповідним вибором функції пристосованості генетичного алгоритму. Розклад, отриманий за допомогою розробленої методики, може містити кілька більшу кількість «вікон», ніж розклад, складений вручну. Однак створення початкового варіанта розкладу вручну займає набагато більше часу, ніж усунення «вікон». Із застосуванням генетичного алгоритму розробляються варіанти розкладу, а співробітнику навчального відділу залишається обрати найкращий. Також зменшується вплив «людського фактору», що робить помилку у складанні розкладу менш ймовірною, ніж при складанні розкладу вручну.

Запропоновану методику рекомендується застосовувати для складання розкладу занять, якщо навчальний план розрахований на 15 тижнів в семестрі. В іншому випадку в етап підготовки даних розробленої методики необхідно внести відповідні зміни. Подальші дослідження можливі у напрямках врахування аудиторного фонду, використання декількох критеріїв у

функції пристосованості у вигляді інтегрального критерію, застосування інших алгоритмів схрещування та мутації, комбінування генетичного алгоритму з іншими методами стохастичного пошуку для підвищення ефективності складання розкладу.

### Список використаної літератури

1. Брезгинов, А. Н., Трегубов, С. Ю. Обзор существующих методов составления расписаний [Текст]. – 2005. – Информационные технологии в программировании, 2(14), 5–18.
2. Семенов, С. П., Татаринцев, Я. Б. Сравнительный анализ подходов к автоматизации составления расписаний учебных занятий в образовательных учреждениях [Текст]. – 2010. – Известия Алтайского государственного университета, 1-1, 103–105.
3. Томашевський, В. М., Новіков, Ю. Л., Камінська, П. А. Складання розкладів занять у дистанційних системах навчання [Текст]. – 2010. – Вісник НТУУ «КПІ», 52, 118–130.
4. Балтак, С. В., Сотсков, Ю. Н. Построение расписания учебных занятий на основе раскраски вершин графа [Текст]. – 2006. – Информатика, 3, 58–69.
5. Burke, E. K., McCollum, B., Meisels, A., Petrovic, S., Qu, R. A Graph-Based Hyper Heuristic for Educational Timetabling Problems [Text]. – 2007. – Eur. J. of Operational Research, 176(1), 177–192. doi: 10.1016/j.ejor.2005.08.012
6. Воробович, О. Н. Информационная система формирования расписания занятий в вузе. [Текст]. – 2013. – Вестник СибГТУ, 1, 120–125.
7. Деканова, М. В. Конкретизация постановочных принципов проблемы многокритериальной оптимизации расписания занятий в университете [Текст]. – 2014. – Вестник Полоцкого государственного университета, 4, 56–66.
8. Щербина, О. А. Метаэвристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации (обзор) [Текст]. – 2014. – Таврический вестник информатики и математики, 1(24), 56–72.

9. Chen, R.-M., Shih H.-F. Solving University Course Timetabling Problems Using Constriction Particle Swarm Optimization with Local Search [Text]. – 2013. – Algorithms, 6, 227–244. doi:10.3390/a6020227

10. Годлевський, М. Д., Абабілов, О. О. Розробка та налаштування паралельних генетичних алгоритмів для розв'язання задачі створення розкладу занять вузу на основі grid-системи [Текст]. – 2010. – Вісник НТУ «ХП», 67, 3–8. doi: 10.20998/%25x

11. Jain, T., Jamil, N. Genetic Algorithm as a General Approach to Time Tabling Problem [Text]. – 2015. – Eur. J. Bus. Manag., 7(4), 7–11.

12. Nugraha, T. A., Putra, K. T., Hayati, N. University Course Timetabling with Genetic Algorithm: A Case Study [Text]. – 2017. – Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY), 1 (2), 100–105. doi:10.18196/jet.1213

13. Omara, F. A., Arafa, M. M. Genetic algorithms for task scheduling problem [Text]. – 2010. – J. Parallel Distrib. Comput., 70, 13–22.

14. Chaudhuri, A., Kajal, D. Fuzzy Genetic Heuristic for University Course Timetable Problem [Text]. – 2010. – International Journal of Advances in Soft Computing and its Applications, 2(1), 101–118.

15. Premasiril, D. M. University Timetable Scheduling Using Genetic Algorithm Approach Case Study: Rajarata University of Sri Lanka [Text]. – 2018. – Journal of Engineering Research and Application, 8(12), 30–35. doi: 10.9790/9622-0812023035

16. Bratković, Z., Herman, T., Omrčen, V., Čupić, M., Jakobović, D. University course timetabling with genetic algorithm: a laboratory exercises case study [Text]. – 2009. – Cotta C., Cowling P. (eds). Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization. Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Heidelberg: Springer, 5482, 45–57. doi: 10.1007/978-3-642-01009-5\_21

17. Gozali, A. A., Kurniawan, B., Weng, W., Fujimura S. Solving University Course Timetabling Problem Using Localized Island Model Genetic Algorithm with Dual Dynamic Migration Policy [Text]. – 2020. – IEEE Trans. on Electrical and Electronic Engineering, 15(3), 389–400. doi: 10.1002/tee.23067

18. Тарнавская, Е. Ю., Маркелова, А. П., Кабаков, М. А., Маковецкий, А. С. Разработка системы для составления расписания вуза на основании генетического алгоритма. – 2020. – Молодой ученый, 40, 12–17. – [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/330/73920/> (дата обращения: 14.03.2021).

## References

1. Brezginov, A. N., Tregubov, S. Yu. (2005) “Review of existing methods of scheduling” [“Obzor suschestvuyuschih metodov sostavleniya raspisaniy”], *Information technologies in programming*, No.2(14), pp. 5–18.

2. Semenov, S. P., Tatarintsev, Ya. B. (2010) “Comparative analysis of approaches to the automation of scheduling training sessions in educational institutions” [“Srvnitelnyiy analiz podhodov k avtomatizatsii sostavleniya raspisaniy uchebnyih zanyatiy v obrazovatelnyih uchrezhdeniyah”], *Bulletin of the Altai State University*, No.1-1, pp. 103–105.

3. Tomashevskiy, V. M., Novikov, Yu. L., Kaminska, P. A. (2010) “Scheduling classes in distance learning systems” [“Skladannya rozkladiv zanyat u distantsiynih sistemah navchannya”], *Bulletin of NTUU “KPI”*, No.52, pp. 118–130.

4. Baltak, S. V., Sotskov, Yu. N. (2006) “Building the schedule of training sessions based on the coloring of the graph vertices” [“Postroenie raspisaniya uchebnyih zanyatiy na osnove raskraski vershin grafa”], *Informatics*, No.3, pp. 58–69.

5. Burke, E. K., McCollum, B., Meisels, A., Petrovic, S., Qu, R. (2007) “A graph-based hyper heuristic for educational timetabling problems”, *Eur. J. of Operational Research*, No.176(1), pp. 177–192. doi: 10.1016/j.ejor.2005.08.012

6. Vorobovich, O.N. (2013) “On information system for the formation of the scheduling at the university” [“Informatsionnaya sistema formirovaniya raspisaniya zanyatiy v vuze”], *Bulletin of SibSTU*, No.1, pp. 120–125.

7. Dekanova, M. V. (2014) “Specification of the setting principles of the problem of multicriteria optimization of the scheduling at the university” [“Konkretizatsiya postanovochnyih printsipov problemy mnogokriterialnoy optimizatsii raspisaniya zanyatiy v universitete”], *Bulletin of Polotsk State University*, No.4, pp. 56–66.

8. Scherbina, O. A. (2014) “Metaheuristic algorithms for combinatorial optimization problems (review)” [“Metaevristicheskie algoritmy dlya zadach kombinatornoy optimizatsii (obzor)”], *Tavrishesky Bulletin of Informatics and Mathematics*, No.1(24), pp. 56–72.

9. Chen, R.-M., Shih H.-F. (2013) “Solving university course timetabling problems using constriction particle swarm optimization with local search”, *Algorithms*, No.6, pp. 227–244. doi:10.3390/a6020227

10. Hodlevskiy, M. D., Ababilov, O. O. (2010) “Development and configuration of parallel genetic algorithms to solve the problem of creating a schedule of university classes based on the grid system”

["Rozrobka ta nalashuvannya paralelnykh henetychnykh alhorytmiv dlia rozviazannia zadachi stvorennia rozkladu zaniat vuzu na osnovi grid-systemy"], *Bulletin of NTU "HPI"*, No.67, pp. 3–8. doi: 10.20998/%25x

11. Jain, T., Jamil, N. (2015) "Genetic algorithm as a general approach to time tabling problem", *Eur. J. Bus. Manag.*, No.7(4), pp. 7–11.

12. Nugraha, T. A., Putra, K. T., Hayati, N. (2017) "University course timetabling with genetic algorithm: a case study", *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, No.1(2), pp. 100–105. doi:10.18196/jet.1213

13. Omara, F. A., Arafa, M. M. (2010) "Genetic algorithms for task scheduling problem", *J. Parallel Distrib. Comput.*, No.70, pp. 13–22.

14. Chaudhuri, A., Kajal, D. (2010) "Fuzzy genetic heuristic for university course timetable problem", *International Journal of Advances in Soft Computing and its Applications*, No.2(1), pp. 101–118.

15. Premasiril, D. M. (2018) "University timetable scheduling using genetic algorithm approach case study: Rajarata University of Sri Lanka", *Jour-*

*nal of Engineering Research and Application*, No. 8(12), pp. 30–35. doi: 10.9790/9622-0812023035

16. Bratković, Z., Herman, T., Omrčen, V., Čupić, M., Jakobović, D. (2009) "University course timetabling with genetic algorithm: a laboratory exercises case study", *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization. Lecture Notes in Computer Science*, Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 45–57. doi: 10.1007/978-3-642-01009-5\_21

17. Gozali, A. A., Kurniawan, B., Weng, W., Fujimura S. (2020) "Solving university course timetabling problem using localized island model genetic algorithm with dual dynamic migration policy", *IEEE Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, No.15(3), pp. 389–400. doi: 10.1002/tee.23067

18. Tarnavskaya, E. Yu., Markelova, A. P., Kabakov, M. A., Makovetskiy, A. S. (2020) "Development of a system for scheduling a university schedule based on a genetic algorithm" ["Razrobka sistemyi dlya sostavleniya raspisaniya vuza na osnovanii geneticheskogo algoritma"], *Young Scientist*, No.40, pp. 12–17, available at: <https://moluch.ru/archive/330/73920/> (accessed 14 March 2021).

## EVEN WEEKLY AND ODD WEEKLY SCHEDULING WITH THE GENETIC ALGORITHM

M. V. Polyakova, Ye. Yu. Tarnavskaya

State University «Odessa Polytechnic»

**Abstract.** Scheduling is a component of the organization of the educational process. One of the common limitations of scheduling is to minimize the number of "windows" for students. In addition, many Ukrainian universities use a system with a scheduling for even and odd weeks. Therefore, there is a need to automate the scheduling at the university with the specified requirements. Genetic algorithms use the search in several directions in the solution space allowing finding a solution close to optimal in a short time. The accuracy of the solution increases with increasing number of iterations. One of the areas of genetic algorithm application is the scheduling under additional constraints, which lead to a reduction in the range of acceptable solutions and, consequently, reduce the number of scheduling versions in the initial population of the genetic algorithm and scheduling versions obtained by crossing and mutation. This narrows the scope of the stochastic search for a genetic algorithm and can lead to an inefficient solution. To avoid this shortcoming the scheduling is divided into a system of less dimension problems, namely, weekly and odd weekly scheduling, as well as even weekly scheduling. The method has been elaborated, which solves each of the obtained problems by the genetic algorithm. According to the elaborated method, the genetic algorithm is used twice: once to weekly and odd weekly scheduling and the second time to even weekly scheduling. A minimum number of "windows" for students is ensured by the appropriate choice of the fitness function of the genetic algorithm. Automation of scheduling saves a lot of time for employees of the training department. With the use of a genetic algorithm, scheduling versions are obtained, and the employee will have to choose the best one. Scheduling with the elaborated method results in a slightly larger number of "windows" than a manually scheduling. However, manually generating the initial version of the schedule takes much longer than the removal of "windows".

**Keywords:** genetic algorithm, scheduling, crossover operator, mutation operator, fitness function.

## МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ НА ЧЕТНЫЕ И НЕЧЕТНЫЕ НЕДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

**М. В. Полякова, Е. Ю. Тарнавская**

*Государственный университет «Одесская политехника»*

**Аннотация.** *Направлением применения генетических алгоритмов является составление расписания в условиях дополнительных ограничений. Это приводит к сокращению области допустимых решений, сужает область стохастического поиска генетического алгоритма и может привести к получению неэффективного решения. Поэтому авторами предложено задачу составления расписания представить системой задач меньшей размерности, а именно, составления расписания занятий, которые проводятся еженедельно и по нечетным неделям, а также составления расписания занятий, которые проводятся по четным неделям. Разработана методика, решающая каждую из этих задач генетическим алгоритмом.*

**Ключевые слова:** *генетический алгоритм, составление расписания, оператор скрещивания, оператор мутации, функция приспособленности.*

Отримано 12.04.2021



**Полякова Марина Вячеславівна**, Державний університет «Одеська політехніка», доктор технічних наук, доцент, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: marina\_polyakova@rambler.ru, тел. +38-099-252-70-64

**Marina Polyakova**, State University «Odessa Polytechnic», Dr. of Science, Associated Professor, Professor of Department of Applied Mathematics and Information Technologies, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0001-7229-7657



**Тарнавська Катерина Юрїївна**, Одеський національний політехнічний університет, магістр, кафедра прикладної математики та інформаційних технологій. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: katuap350@gmail.com, тел. +38-095-544-82-87

**Yekaterina Tarnavskaya**, State University «Odessa Polytechnic», Master of Science, Department of Applied Mathematics and Information Technologies, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0003-1196-6911