



DOI: 10.22363/2312-8143-2025-26-3-288-297

EDN: YSDKNI


Научная статья / Research article

Статистический анализ функционирования модифицированных генетических алгоритмов для автоматизированного составления расписания многоуровневого вуза

Д.С. Захаров^a , А.Ф. Рогачев^b  

^a Себряковский филиал, Волгоградский государственный технический университет, *Михайловка, Российская Федерация*

^b Волгоградский государственный технический университет, *Волгоград, Российская Федерация*

 rafr@mail.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 28 апреля 2025 г.

Доработана: 23 июня 2025 г.

Принята к публикации: 10 июля 2025 г.

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Аннотация. Построение расписания занятий учебного заведения, в частности многоуровневого вуза, сочетающих в своих организационно-педагогических структурах несколько уровней обучения, включая профессионалитет, среднее профессиональное и высшее образование, а также подготовку научно-педагогических кадров высшей квалификации, является трудоемкой задачей. Рассмотрен компьютеризованный подход к процессу построения модели и его оптимизации. Используются методы системного анализа и модификации генетических алгоритмов (ГА), обоснованы структура исходных данных для задачи составления и оптимизации учебных расписаний с применением метода штрафных функций для учета ресурсных и иных ограничений. Предложен статистический подход и реализован модуль сбора и визуализации статистики с возможностью оперативной корректировки гиперпараметров и математической модели ГА. Приведены примеры решения задачи построения расписаний многоуровневого вуза с применением ГА. Разработанная компьютерная программа обеспечивает построение расписания учебных занятий многоуровневого вуза, эффективного по обоснованному интегральному критерию качества и с учетом ограничений.

Ключевые слова: учебное расписание, системный анализ, ресурсы, ограничения, критерий качества, генетический алгоритм

Вклад авторов

Захаров Д.С. — сбор, создание и обработка базы данных, разработка программы для ЭВМ; анализ данных, написание текста, подготовка рисунков; *Рогачев А.Ф.* — концепция и дизайн исследования, анализ данных, написание текста, подготовка рисунков.

Благодарности

Авторы благодарят директора Себряковского филиала Волгоградского государственного технического университета кандидата экономических наук доцента Карпушову Светлану Евгеньевну за содействие в сборе эмпирических материалов, использованных при подготовке статьи.

© Захаров Д.С., Рогачев А.Ф., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Для цитирования

Захаров Д.С., Рогачев А.Ф. Статистический анализ функционирования модифицированных генетических алгоритмов для автоматизированного составления расписания многоуровневого вуза // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2025. Т. 26. № 3. С. 288–297. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2025-26-3-288-297>

Statistical Analysis of the Performance of Modified Genetic Algorithms for Automated Compilation of a Multilevel University Scheduling

Dmitry S. Zakharov^a, Aleksey F. Rogachev^b

^aSebryakovsky branch, Volgograd State Technical University, *Mikhailovka, Russian Federation*

^bVolgograd State Technical University, *Volgograd, Russian Federation*

✉ rafr@mail.ru

Article history

Received: April 28, 2025

Revised: June 23, 2025

Accepted: July 10, 2025

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Abstract. The construction of a class schedule of an educational institution and, especially, a multilevel higher education institution, combining in its organizational and pedagogical structures several levels of education, including professional, secondary vocational and higher education, as well as training of scientific and pedagogical staff of higher qualification, is a time-consuming task. The study considers a computerized approach to the process of building a model of its optimization. The study uses the methods of system analysis and modification of genetic algorithms (GA), substantiates the structure of initial data for the task of compiling and optimizing training schedules using the method of penalty functions to account for resource and other constraints. A statistical approach is proposed, and a statistics collection and visualization module is implemented, which allows for the operative correction of hyperparameters and the mathematical model of the GA. The examples are provided to illustrate the problem of creating schedules for a multilevel university using GA. The developed computer program provides the creating of the schedule of academic classes of a multilevel university, effective according to the integral quality criterion substantiated taking into account the limitations.

Keywords: training schedule, system analysis, resources, constraints, quality criterion, genetic algorithm

Authors' contribution

Zakharov D.S. — collection, creation and processing of database, development of computer program; data analysis, text composition, figure preparation; Rogachev A.F. — concept and design of the study, data analysis, text composition, figure preparation.

Acknowledgements

The authors would like to thank Svetlana E. Karpushova, PhD in Economics, Associate Professor, Director of the Sebryakovsky Branch of the Volgograd State Technical University, for her assistance in collecting empirical materials used in the preparation of the article.

For citation

Zakharov DS, Rogachev AF. Statistical analysis of the performance of modified genetic algorithms for automated compilation of a multilevel university scheduling. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2025;26(3):288–297. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2025-26-3-288-297>

Введение

Построение расписания занятий учебного заведения, в том числе вуза, является трудоемкой задачей, относящейся к классу NP-сложных [1]. Громоздкость решения таких задач характерна для многоуровневых вузов, сочетающих в своих организационно-педагогических структурах несколько уровней обучения, включая профессионалитет, среднее профессиональное и высшее образование, а также подготовку научно-педагогических кадров высшей квалификации. При этом необходимо учитывать многочисленные и отчасти противоречивые требования ограниченности наличных ресурсов и нечеткость интегрального многокомпонентного критериев оценки качества полученного расписания учебных занятий для вуза в целом и отдельных участников образовательного процесса.

Проблема увязки предъявляемых требований в формируемом учебном расписании дополнительно усугубляется необходимостью учета нелинейности образовательного процесса, для которой характерна «возрастающая открытость и взаимопересечение образовательных и культурных сред¹. Как школы, так и высшие учебные заведения перестают быть „вещью в себе“, оказываются поставленными в обстоятельства, когда одновременно должны предоставлять субъектам возможности для обучения в интеграции разнообразных сред и поддерживать собственную образовательную специфику», отмечаемая в работе [2].

Как отмечают С.В. Аранова, Л.К. Боровик, Н.В. Примчук, упомянутая нелинейность определяет такие характеристики, как: «динамичный характер в открытом взаимодействии с внешней средой; возможность внесения изменений на уровне целей, содержания и результатов образования с учетом социальных и культурных вызовов; самореализация обучающихся

за счет выстраивания индивидуальных образовательных маршрутов» [2]. Цитируемые авторы отмечают ряд ключевых моментов, необходимых при составлении расписания «Математическое моделирование и автоматизация процесса реализации учебного расписания; Типологизация и формирование требований к учебному расписанию с учетом стандартов и регламентов; методы и алгоритмы построения расписания» [3].

Известны различные математико-алгоритмические подходы к решению задачи оптимизации учебного расписания, исследованные в работах А.С. Хасухаджиева, М.Э. Нагорных, И.И. Холода, В.С. Иванова, В.А. Бабкина, И.С. Григорьева и других исследователей, включая математическое моделирование и специализированные фреймворки [4; 5], мультиагентные системы [3; 6; 7] и другие методы.

В качестве эффективного подхода при составлении расписания вуза, как большой многокомпонентной системы, ряд авторов рекомендует метод компьютерного решения задачи оптимизации при составлении расписаний многоуровневого вуза на основе генетического алгоритма (ГА), являющегося эвристическим подвигом искусственного интеллекта (ИИ) [8].

С целью системного семантического описания предметной области задачи составления учебных расписаний обоснован онтологический подход к формированию структуры ее данных² [1]. Разработанные компьютерные программы обеспечивают построение расписания учебных занятий многоуровневого вуза. Известны различные методы оценки и реализации эффективного интегрального критерия качества, в том числе на основе комбинированных штрафных функций для учета ограничений математической модели оптимального расписания.

С учетом NP-сложности рассматриваемой задачи, существенного времени счета даже на современных быстродействующих ЭВМ, достигающих десятков минут, и необходимости опе-

¹ Смоленцева Т.Е. Технологии цифровой трансформации : практикум : учебное пособие. Москва : РТУ МИРЭА, 2023. 66 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/368729> (дата обращения: 28.09.2024)

² Андрианова А.А., Исмаилов Л.Н., Мухтарова Т.М. Алгоритмизация и программирование. Практикум : учебное пособие. Санкт-Петербург : Лань, 2022. 240 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/206258> (дата обращения: 12.03.2024)

ративных корректировок расписания, вопросы оптимизации машинного времени являются весьма актуальными, что невозможно без соответствующих статистических методов учета при модификации генетических алгоритмов и структуры входных и расчетных данных.

1. Методы

База данных (БД) решаемой задачи была сформирована на основе семантического описания предметной области проектирования расписания с учетом особенностей многоуровневого вуза, включающего частично пересекающиеся подмножества ресурсных ограничений для реализуемых уровней образования [9]. Для компьютерной поддержки решения оптимизационной задачи использованы методы онтологического инжиниринга, эволюционно-генетического и математического моделирования, статистического анализа, построения, а также нормализации и структурной оптимизации базы данных.

Эволюционная оптимизация учебного расписания была реализована посредством модифицируемого ГА, обобщенная схема которого представлена на рис. 1.

Исходный вариант расписания, представляющий собой начальную популяцию ГА, формировался случайно с использованием случайных значений хромосом.

Основные генетические операторы селекции, скрещивания и мутации [10–12] реализованы с возможностью модификации, в том числе в процессе реализации бесконечного цикла «while true» с предварительной проверкой условия останова.

Расчеты выполнялись на ПК со следующими характеристиками: CPU: 11th Gen Intel® Core™ i5-11400 2.60Ghz (12 CPUs); RAM: 32Gb; SSD: M.2 NVME 1Tb.

2. Результаты и обсуждение

Программа для формирования оптимизированного расписания включает специализированную базу данных и оптимизатор, реализованный на основе генетического алгоритма.

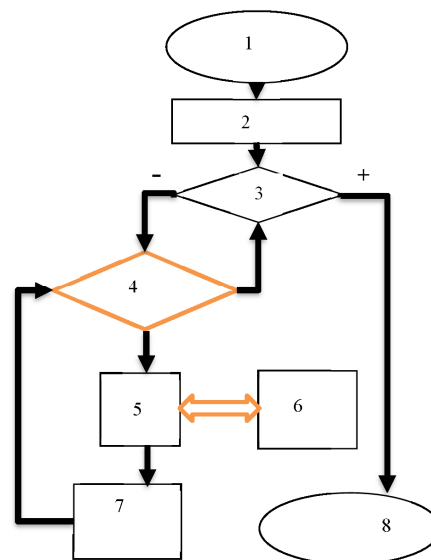


Рис. 1. Обобщенная блок-схема ГА с модифицируемыми генетическими операторами:
1 — останов, обозначены блоки генерации поколения;
2 — вычисление функции пригодности; 3 — проверка условия останова; 4 — задание основного цикла; 5 — блок реализации генетических операторов, 6 — блок модификации;
7 — обновление популяции; 8 — завершение ГА
Источник: выполнено Д.С. Захаровым, А.Ф. Рогачевым

Figure 1. Generalized flowchart of GA with modifiable genetic operators:
1 — breakpoint, the generation blocks are designated;
2 — calculation of the fitting function; 3 — checking of the breakpoint condition; 4 — definition of the main cycle;
5 — block for implementing genetic operators; 6 — modification block; 7 — population update; 8 — completion of genetic algorithms
Source: by D.S. Zakharov, A.F. Rogachev

2.1. Особенности разработанного программного средства для оптимизации расписания

Основные элементы БД, используемой для оптимизации расписания многоуровневого вуза и разработанной на основе онтологической модели, представлены в табл. 1.

Перед началом работы методист учебного отдела загружает файл учебной нагрузки и преподавателей [13]. В этом файле содержатся:

- название дисциплины;
- часы на дисциплину с разбивкой лекции/практики/лабы/СРС;
- прикрепленный преподаватель;
- кафедра, за которой закреплена дисциплина;
- прочие данные (коды дисциплин, кол-во групп бюджет/внебюджет, кол-во человек в группе, формы контроля и прочее).

После этого программа запускается на выполнение оптимизации расписания до момента останова по заданному критерию. Разработанная авторами зависимость, описывающая значение безразмерной функции пригодности единичного индивида в популяции и учитывающая окна в сетке расписания, равномерность загрузки, типы кабинетов, ограничения, а также предпочтения преподавателей, имеет вид

$$F = K_1 * \sum \left(N_1 * X + \frac{(N_2 + 1) * X}{2} + N_3 * Y + \frac{(N_4 + 1) * Y}{2} \right) + K_2 * \sum (G_D^2) + K_3 * \sum (Z_c) + K_4 * \sum (R_t) + K_5 * \sum (W_t), \quad (1)$$

где $K_1 \dots i$ — весовые (уравнивающие) коэффициенты показателей; $N_1 \dots j$ — количество окон различных типов; X — штраф за окна в сетке расписаний студентов; Y — штраф за окна в сетке расписаний преподавателей; G_D — показатель отклонения от среднего показателя занятий в день (для расчета равномерности нагрузки); D — день недели (1..6); Z_c — показатель штрафа за несоблюдение типа занятия и кабинета; C — ячейка расписания; R — штраф за несоблюдение ограничения; W — штраф за несоблюдение предпочтения; t — преподаватель/время/иной объект предпочтения или ограничения.

Таблица 1 / Table 1

Фрагмент БД с основными расчетными параметрами / Snapshot of the database with the main calculated parameters

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
form	block	co	co	co	co	name	direction	levels	semestr	contol_type	groups	count_all	count	count	type	cou	cou	cou	kafedra	zvan	step	dolz	uslov	teacher	hours	
ДН	Б1	0	1			Английский язык	09.03.02	ПБ	1	3	ИСТ11д-21, М11д-21	28	24	4	прак	1	1	ГД	доц	кн	дц	шт		Белозерова Е.В.		
ДН	Б1	0	10			Математика	09.03.02	ПБ	1	9	ИСТ11д-21, М11д-21	29	25	4	лек	1	1	МИЕНД		ст	сов	шсв		Киселева М.Н.		
ДН	Б1	0	11			Информатика	09.03.02	ПБ	1	9	ИСТ11д-21	25	25	лек	1	1	МИЕНД		кн	доц	сов			Желудков М.А.		
ДН	Б1	0	24			История информационн	09.03.02	ПБ		1	3	ИСТ11д-21	25	25	лек	1	1	МИЕНД			преп	пч			Игнатов А.В.	
ДН	Б1	0	4			Социология и психологи	09.03.02	ПБ	1	9	ИСТ11д-21	25	25	лек	1	1	ГД	проф	дн	эк	шт			Сухинин А.В.		
ДН	Б1	0	27			Химия	09.03.02	ПБ	1	3	ИСТ11д-21	25	25	лек	1	1	МИЕНД		ст	сов				Сидорова Н.Ю.		
ДН	Б1	0	29			Дискретная математика	09.03.02	ПБ	1	9	ИСТ11д-21	25	25	лек	1	1	МИЕНД		кн	дц	шсв			Крутилин А.А.		
ДН	Б1	0	8			Культурология	09.03.02	ПБ	1	3	ИСТ11д-21	25	25	лек	1	1	ГД		кн	дц	шт			Балибардина Н.Г.		
ДН	Б1	8	8			Элективные дисциплины	09.03.02	ПБ	1	3	ИСТ11д-21, ИСТ21д-20	25	25	лек	1	1	ГД		кн	дц	шт			Дорофеева Г.А.		
ДН	Б1	0	2			История России, всеобщ	09.03.02	ПБ	2	9	ИСТ11д-21	25	25	лек	1	1	ГД		кн	дц	шт			Балибардина Н.Г.		
ДН	Б1	0	1			Английский язык	09.03.02	ПБ	2	3	ИСТ11д-21, М11д-21	28	24	4	прак	1	1	ГД	доц	кн	дц	шт		Белозерова Е.В.		
ДН	Б1	0	10			Математика	09.03.02	ПБ	2	9	ИСТ11д-21, М11д-21	29	25	4	лек	1	1	МИЕНД		ст	шсв			Киселева М.Н.		
ЛН	Б1	0	6			Безопасность жизнедеят	09.03.07	ПБ	2	3	ИСТ11д-21	25	25	лек	1	1	ТЛитЭ	лои	кн	ли	шт			Решетникова М.В.		

Источник: выполнено Д.С. Захаровым, А.Ф. Рогачевым / Source: by D.S. Zakharov, A.F. Rogachev

Таблица 2

Варианты модификации генетических операторов

Этапы реализации ГА	Варианты модификации	Результаты модификации
1. Построение начальной популяции	Построение начальной популяции по строгому алгоритму, с соблюдением жестких (обязательных) ограничений	Невозможность нарушения жестких ограничений в ходе работы алгоритма, отсутствие пересечений
2. Селекция	Механизм «встряски» при стагнации популяции, добавление новых неоптимизированных индивидов, сокращение популяции по принципу «катаклизма»	Сокращение вероятности ухода алгоритма в локальные минимумы и периоды однообразия популяций
3. Скрещивание	Групповое скрещивание особей популяции с возможностью скрещиваться более двух особей	Увеличение разнообразия индивидов
4. Мутация	Двухэтапная мутация: вынужденная, в случае нахождения пересечений отдельных генов, и случайная мутация	Уменьшение вероятности появления нежестких ограничений, разнообразие индивидов
5. Гиперпараметры ГА	Гибкая подстройка и адаптация параметров ГА (размер популяции, количество скрещиваемых индивидов, вероятность мутации и т.д.)	Ускорение работы алгоритма и более эффективное использование ресурсов ЭВМ

Источник: выполнено Д.С. Захаровым, А.Ф. Рогачевым

Table 2

Modification options for genetic operators

Stages of GA implementation	Modification options	Modification results
1. Building the initial population	Building an initial population according to a strict algorithm, subject to strict (mandatory) restrictions	The impossibility of violating strict restrictions during the operation of the algorithm, the absence of intersections
2. Breeding	The mechanism of “shaking up” during population stagnation, the addition of new unoptimized individuals, the reduction of the population according to the principle of “cataclysm”	Reducing the probability of the algorithm going into local minima and periods of population uniformity
3. Crossbreeding	Group interbreeding of individuals of the population with the possibility of interbreeding more than two individuals	Increasing the diversity of individuals
4. Mutation	Two-stage mutation: forced, in case of intersections of individual genes, and accidental mutation	Increasing the diversity of individuals. Reducing the likelihood of non-rigid restrictions, diversity of individuals
5. Hyperparameters of GA	Flexible adjustment and adaptation of GA parameters (population size, number of individuals crossed, probability of mutation, etc.)	Acceleration of the algorithm and more efficient use of computer resources

Source: by D.S. Zakharov, A.F. Rogachev

Представленные в табл. 2 возможные варианты модификации генетических операторов и элементов ГА способствуют уменьшению ресурсоемкости проводимых операций, позволяют строго соблюдать жесткие ограничения при составлении расписаний, а также снижают влияние системных недостатков ГА на конечный результат.

2.2. Результаты численных экспериментов

Результаты численных экспериментов расчета оптимального расписания с использованием разработанной программы методом ГА, использующей модуль «Статистика» [14], представлены на рис. 2. Упомянутый модуль статистического анализа обеспечивает сбор, анализ и отображения статистики работы ГА, позволяет в автоматизированном режиме корректировать гиперпараметры ГА, его характеристики, а также параметры ограничений при оптимизации расписаний.

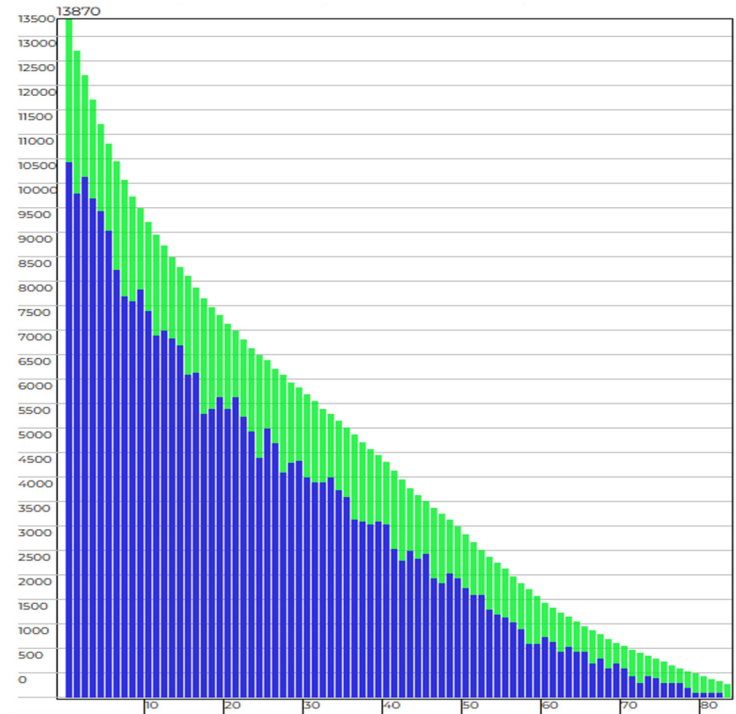
Проведенные расчеты на ПК показали, что отбор индивидов популяции в количестве 50 %, после подсчета функции приспособленности показала лучшую эффективность по времени и конфигурации нисходящего характера графиков, при чем 80 %. Потомство дают 50 % лучших особей (из 1000 особей), при этом время

расчета составило 8 минут и останов происходил в районе 90 поколений (эпох).

На рис. 3 представлены результаты численного эксперимента, предусматривающего применение более широкого разнообразия особей для дальнейшего скрещивания. Отметим, что 80 % лучших особей дают потомство (1000 особей), при этом останов происходил ориентировочно на 280-м поколении, а время расчета составляло порядка 30 минут.

Анализ графика на рис. 3 показывает, что увеличение количества особей, участвующих в турнирном отборе дальнейших популяций, дает отрицательную динамику поиска оптимального результата.

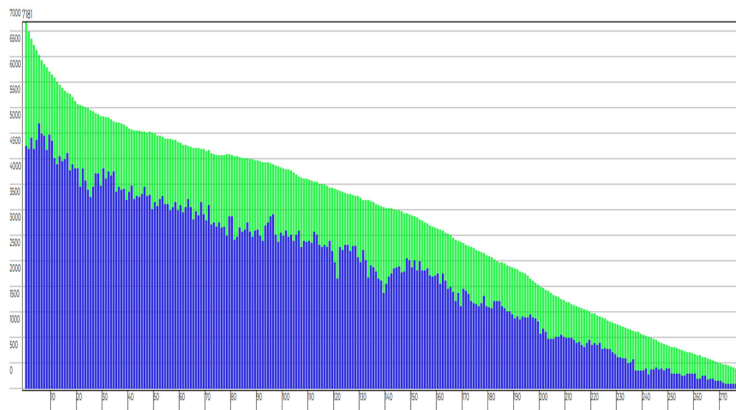
Анализ конфигурации диаграммы на рис. 3 показывает, что высокий показатель доли скрещиваемых в поколении особей дает негативный эффект кратковременного ухудшения показателя пригодности популяции (синие пики на графике), а также способствует увеличению времени работы алгоритма и конкретной ресурсозатратности. Более низкое значение показателя (30–40 %) дает эффект недостаточности генного разнообразия индивидов и приводит процесс расчета оптимального решения к стагнации популяции и невозможности применения останова по достижении оптимального результата функции приспособленности (рис. 4).



— лучший результат функции приспособленности индивида в популяции /
 The best outcome of an individual's fitness function in a population
 — средний результат функции приспособленности популяции /
 Average result of the population adaptation function

Рис. 2. Результаты численных экспериментов с использованием модуля «Статистика» разработанной программы
 Источник: выполнено Д.С. Захаровым, А.Ф. Рогачевым

Figure 2. Results of numerical experiments using the developed program module "Statistics"
 Source: by D.S. Zakharov, A.F. Rogachev



— лучший результат функции приспособленности индивида в популяции /
 The best outcome of an individual's fitness function in a population
 — средний результат функции приспособленности популяции /
 Average result of the population adaptation function

Рис. 3. Результаты численного эксперимента при увеличенной доле скрещиваемых хромосом особей
 Источник: выполнено Д.С. Захаровым, А.Ф. Рогачевым

Figure 3. Results of numerical experiment at increased proportion of crossed chromosome individuals
 Source: by D.S. Zakharov, A.F. Rogachev

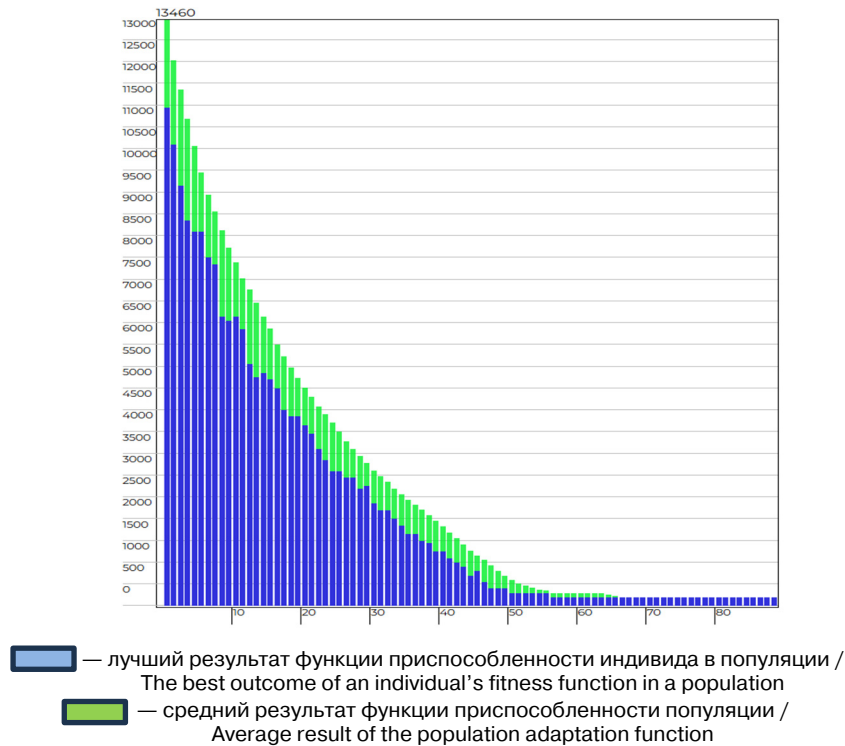


Рис. 4. Результаты численного эксперимента при уменьшенной доле скрещиваемых особей до 30 %

И с т о ч н и к: выполнено Д.С. Захаровым, А.Ф. Рогачевым

Figure 4. Results of numerical experiment at reduced proportion of crossbred individuals up to 30%

S o u r c e: by D.S. Zakharov, A.F. Rogachev

Анализ диаграммы на рис. 4 показывает, что низкий уровень доли скрещиваемых особей приводит к заикливаю алгоритма, чего необходимо избегать. Диаграмма показывает, что на определенном этапе большая часть особей пришла к единому неоптимальному решению и не может из него выбраться. Случайная мутация способствует выходу на оптимальное решение, но зачастую не позволяет этого добиться из-за ухудшения показателя целевой функции пригодности, и, соответственно, непрохождения в следующую популяцию.

Совершенствование функционирования эволюционных вычислений при решении задачи оптимизации расписания многоуровневого вуза можно совмещать с различными модификациями реализациями непосредственно ГА.

Обеспечиваемый при этом синергетический эффект также может способствовать повышению эффективности оптимизации и, прежде всего, сокращению времени достижения приемлемого времени счета по задаваемому кри-

терию его качества. Для этого можно использовать отдельную программу grid-оптимизации, которую удобно разработать на языке Python.

Заключение

Проведенные теоретические и численные исследования создания компьютерной программы для оптимизации составления расписания многоуровневого вуза позволили сформулировать следующие выводы.

1. Разработанный программный комплекс, включающий блоки ввода исходных данных (учебных планов дисциплин, аудиторного фонда, учебных групп, преподавателей дисциплин и др.), формирования начального варианта расписания методом случайного выбора, оптимизации расписания методом ГА, модуля статистики, а также вывода результатов оптимизации обеспечивает автоматизированное построение оптимального расписания по заданному критерию, при этом время счета для заданного

многоуровневого филиала ВолгГТУ составляло порядка 6...30 минут.

2. Разработанный модуль статистики обеспечивает возможность проведения автоматизированного тестирования различных параметров с проведением анализа и вывода на экран статистических данных о процессе тестирования. Также данный модуль на основе проведенных тестов способен выдавать оптимальный набор параметров на основе конкретных данных, что можно использовать для оценки эффективности функционирования текущей конфигурации ГА, сравнения вариантов его модификации и совершенствования гиперпараметров, что следует выполнять для каждого набора параметров оптимизируемого расписания, а также при их существенном изменении.

3. Совершенствование функционирования эволюционно-генетического алгоритма при решении задачи оптимизации расписания многоуровневого вуза возможно совмещать с различными модификациями реализации непосредственно ГА. Достигаемый при этом синергетический эффект может способствовать повышению эффективности оптимизации и сокращению времени ее достижения по задаваемому критерию его качества.

Список литературы

1. Rogachev A.F., Zakharov D.S. A Systematic approach to ontology construction for automating the scheduling of a multilevel university // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2025. Т. 26. № 1. С. 39–51. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2025-26-1-39-51>
2. Аранова С.В., Боровик Л.К., Примчук Н.В. Модель построения учебного расписания в нелинейном образовательном процессе педагогического вуза // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2025. № 2 (195). С. 61–72. EDN: TATJTE
3. Хасухаджиев А.С.А. Модели и алгоритмы формирования учебного расписания с учетом заданного набора требований : автореф. дис. ... д-ра пед. наук. Астрахань, 2022. 185 с. EDN: NVFEGD
4. Фураева И.И., Сеньковская А.А. Моделирование процесса распределения учебной нагрузки кафедры с использованием жадного алгоритма // Математические структуры и моделирование. 2017. № 4 (44). С. 101–109. <http://doi.org/10.24147/2222-8772.2017.4.101-109> EDN: ZWAXXL

5. Babkin V.A., Chepurnov S.V., Boldyrev R.O., Ignatov A.V., Knyazev A.P., Zakharov D.S., Borisov D.A., Yanborisov V.M., Titova E.S., Belousova V.S., Artsis M.I., Zaiikov G.E. Quantum-chemical calculation of the graphene oxide molecule in the framework of the Hoffman model by the MNDO method // Oxidation Communications. 2021. Vol. 44. No. 1. С. 22–26. EDN WARFBK

6. Нагорных М.Э. Мультиагентная система формирования расписания в вузе // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2022. № 2. 99–108. <http://doi.org/10.18137/RNU.V9187.22.02.P.099> EDN: LNIWWU

7. Холод И.И., Иванов В.С., Григорьев И.С., Корытов П.В., Ковынев М.В. Опыт автоматизации процесса составления расписания в вузе // Cloud of Science. 2020. Т. 7. № 4. С. 844–868. EDN: NVZDQW

8. Rogachev D.A., Rogachev A.F. Justification of Parameters Modifiable for Genetic Algorithms of Artificial Intelligence for Solving Multi-Criteria Optimization Problems // Inventive Communication and Computational Technologies: Proceedings of ICICCT 2024, Coimbatore. Singapore : Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2024. Vol. 23. P. 899–910. EDN: YUELQB

9. Карпушова С.Е., Пацюк Е.В., Рыжова О.А., Инькова Н.А., Захаров Д.С. База данных автогенератора учебных расписаний / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2023624808, 20.12.2023. Заявка от 13.12.2023. EDN: KSTGPT

10. Москвитин А.А. Данные, информация, знания: методология, теория, технологии. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург : Лань, 2023. 236 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/288968> (дата обращения: 13.02.2025).

11. Захаров Д.С. Применение модифицированных генетических алгоритмов для решения эволюционных задач теории расписаний // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023. Т. 50. № 2. 90–97. <http://doi.org/10.21822/2073-6185-2023-50-2-90-97> EDN: EUXQJO

12. Захаров Д.С. Автогенератор учебных расписаний / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023687279, 13.12.2023. Заявка от 13.12.2023. EDN: EWXCUJ

13. Patsyuk E.V., Zakharov D.S., Inkova N.A., Krutillin A.A., Khachatryan S.Z. Intellectual Machines as Hi-Tech Ecological Innovations Created with the Help of Evolutionary Computation and Genetic Algorithms // Modern Global Economic System: Evolutional Development vs. Revolutionary Leap : Institute of Scientific Communications Conference. Cham : Springer Nature, 2021. Vol. 198. P. 1190–1197. http://doi.org/10.1007/978-3-030-69415-9_129 EDN: MCRRUL

14. Захаров Д.С., Захаров М.С. Модуль сбора статистики автогенератора учебных расписаний / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024686891, 13.11.2024. Заявка от 13.11.2024. EDN: CAELXH

References

1. Rogachev AF, Zakharov DS. A systematic approach to building an ontology for automating the scheduling of a multi-level university. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2025;26(1):39–51. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2025-26-1-39-51>
2. Aranova SV, Borovik LK, Primchuk NV. The model of making the school schedule in the non-linear educational process of pedagogical university. *Izvestia of the Volgograd State Pedagogical University*. 2025;2(195): 61–72. (In Russ.) EDN: TATJTE
3. Khasukhadzhiev ASA. *Models and algorithms for the formation of an educational schedule, taking into account a given set of requirements*: abstract of the dissertation of the Doctor of Pedagogical Sciences. Astrakhan, 2022. (In Russ.) EDN: NVFEGD
4. Furaeva II, Senkovskaya AA. Modeling the process of distributing the academic load of the department using a greedy algorithm. *Mathematical structures and modeling*. 2017;4(44):101–109. (In Russ.) <http://doi.org/10.24147/2222-8772.2017.4.101-109> EDN: ZWAXXL
5. Babkin VA, Chepurinov SV, Boldyrev RO, Ignatov AV, Knyazev AP, Zakharov DS, Borisov DA, Yanborisov VM, Titova ES, Belousova VS, Artsis MI, Zaikov GE. Quantum-chemical calculation of the graphene oxide molecule in the framework of the Hoffman model by the MNDO method. *Oxidation Communications*. 2021;44(1): 22–26. (In Russ.) <http://doi.org/10.35211/1990-5297-2021-5-252-22-26> EDN: WARFBK
6. Nagornykh ME. Multi-agent scheduling system at the university. *Bulletin of the Russian New University. Series: Complex systems: models, analysis and management*. 2022;(2):99–108. (In Russ.) <http://doi.org/10.18137/RNU.V9I187.22.02.P.099> EDN: LNIWWU
7. Kholod II, Ivanov VS, Grigoriev IS, Korytov P, Kovynov M. Experience in automating the scheduling process at a university. *Cloud of Science*. 2020;7(4):844–868. (In Russ.) EDN: NVZDQW
8. Rogachev DA, Rogachev AF. Justification of parameters modifiable for genetic algorithms of artificial intelligence for solving multi-criteria optimization problems. *Inventive Communication and Computational Technologies: Proceedings of ICICCT 2024*. Coimbatore, Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd; 2024;23:899–910. EDN: YUELQB
9. Karpushova SE, Patsyuk EV, Ryzhova OA, Inkova NA, Zakharov DS. *Data base of the curriculum auto-generator*. Database registration certificate RU 2023624808, 12.20.2023. (In Russ.) EDN: KSTGPT
10. Moskvitin AA. *Data, information, knowledge: methodology, theory, technologies*. 2nd ed., erased. Saint Petersburg: Lan Publ.; 2023. (In Russ.) Available from: <https://e.lanbook.com/book/288968> (accessed: 13.02.2025)
11. Zakharov DS. Application of modified genetic algorithms for solving evolutionary problems of the theory of schedules. *Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences*. 2023;50(2):90–97. (In Russ.) <http://doi.org/10.21822/2073-6185-2023-50-2-90-97> EDN: EUXQJO
12. Zakharov DS. *Autogenerator of training schedules*. Certificate of registration of the program for computer RU 2023687279, 13.12.2023. (In Russ.) EDN: EWXCUJ
13. Patsyuk EV, Zakharov DS, Krutilin AA, Khachatryan SZ, Inkova NA. Intellectual Machines as Hi-Tech Ecological Innovations Created with the Help of Evolutionary Computation and Genetic Algorithms. *Modern Global Economic System: Evolutional Development vs. Revolutionary Leap : Institute of Scientific Communications Conference*. Cham : Springer Nature, 2021;198:1190–1197. http://doi.org/10.1007/978-3-030-69415-9_129 EDN: MCRRUL
14. Zakharov DS, Zakharov MS. *Module for collecting statistics of the curriculum auto-generator*. Computer program registration certificate RU 2024686891, 11.13.2024. (In Russ.) EDN: CAELXH

Сведения об авторах

Захаров Дмитрий Сергеевич, соискатель, старший преподаватель кафедры математических и естественнонаучных дисциплин Себряковского филиала, Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, д. 28; eLIBRARY SPIN-код: 8794-7672, ORCID: 0009-0009-6665-510X; e-mail: zakator@bk.ru

Рогачев Алексей Фруминович, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем в экономике, Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, д. 28; eLIBRARY SPIN-код: 8413-5020, ORCID: 0000-0002-3077-6622; e-mail: rafr@mail.ru

About the authors

Dmitry S. Zakharov, Applicant, Senior Lecturer of the Department of Mathematical and Natural Sciences, Sebyakovsky branch, Volgograd State Technical University, 28 Lenina ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 8794-7672, ORCID: 0009-0009-6665-510X; e-mail: zakator@bk.ru

Aleksey F. Rogachev, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Systems in Economics, Volgograd State Technical University, 28 Lenina ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 8413-5020, ORCID: 0000-0002-3077-6622; e-mail: rafr@mail.ru