

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.421

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-90-97

Оригинальная статья /Original Paper

Применение модифицированных генетических алгоритмов для решения
эволюционных задач теории расписаний

Д.С. Захаров

Волгоградский государственный технический университет,
400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28, Россия

Резюме. Цель. В статье рассмотрены способы модификации генетических алгоритмов, применяемых для автоматизации процесса составления расписаний. **Метод.** В работе использованы методы эволюционных вычислений, теории расписаний, генетические алгоритмы (ГА), разработанный программный продукт. **Результат.** Установлено, что построение начальной популяции генетических алгоритмов для решения задачи является крайне важным критерием схождения результата. Установлено, что двухэтапная мутация также позволяет корректировать особи в нужном направлении, тем самым сокращая время выполнения работы генетических алгоритмов. **Вывод.** Исследования показывают, что разработанные способы модификации генетических алгоритмов могут сильно влиять на производительность программного обеспечения при автоматизированном составлении расписаний учебных заведений. Разработана схема работы ГА, представлены и апробированы способы модификации генетических алгоритмов.

Ключевые слова: многоуровневый ВУЗ, составление расписаний, генетический алгоритм

Для цитирования: Д.С. Захаров. Применение модифицированных генетических алгоритмов для решения эволюционных задач теории расписаний. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):90-97. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-90-97

Application of modified genetic algorithms for solving evolutionary problems of the theory
of schedules

D.S. Zakharov

Volgograd State Technical University,
28, Lenin Ave., Volgograd 400005, Russia

Abstract. Objective. The article proposes ways to modify genetic algorithms used to automate the process of scheduling. **Method.** The methods of evolutionary calculations, the theory of schedules, genetic algorithms, the developed software product are used in the work. **Result.** It is established that the construction of the initial GA population for solving the problem is an extremely important criterion for the convergence of the result. It has been established that the two-stage mutation also allows individuals to be adjusted in the right direction, thereby reducing the time required to perform GA work. **Conclusion.** Studies show that the developed methods of GA modification can greatly affect the performance of software in the automated scheduling of educational institutions, a scheme of GA operation has been developed, methods of GA modification have been presented and tested.

Keywords: multilevel university, scheduling, genetic algorithm

For citation: D.S. Zakharov. Application of modified genetic algorithms for solving evolutionary problems of the theory of schedules. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50 (2): 90-97. DOI: 10.21822 /2073-6185-2023-50-2-90-97

Введение. Основной задачей системы образования при ведении учебного процесса является грамотное и точное составление расписания занятий. При формировании расписания учебных занятий многоуровневого образовательного учреждения имеется ряд ограничений и тонкостей, что приводит к большим трудовым, временным и материальным затратам. В учебном заведении высшего образования Себряковский филиал ВолгГТУ большое количество преподавателей (около 90%) работают по внешнему или внутреннему совместительству на разных уровнях образования, поэтому очень важно, чтобы их график по основному месту работы не пересекался с графиком работы по совместительству. Также следует помнить о выполнении правил организации учебного процесса и обязательных санитарных нормах.

Постановка задачи. Составление рабочих расписаний в любой сфере деятельности невероятно сложная и нетривиальная задача. Каждый учебный год методисты учебных заведений тратят до нескольких недель на составление только ориентировочного расписания, которое затем подлежит определенной доработке во время учебного процесса. Сложности также добавляет тот факт, что некоторые учебные заведения стараются предоставлять более широкий спектр услуг, в котором задействованы преподаватели, например дополнительное образование, всевозможные кружки для учащихся, и прочее. Также существенным фактором возрастающей сложности составления расписания может стать многоуровневость учебного заведения.

Необходимо подчеркнуть, что составление расписания занятий в многоуровневом ВУЗе задача невероятно трудная, т.к. в одном учебном заведении обычно общий штат сотрудников, преподаватели которого в меньшей или большей степени задействованы на каждом уровне образования. Расписание в таком ВУЗе составляется одновременно и с учетом каждого уровня профессиональной подготовки.

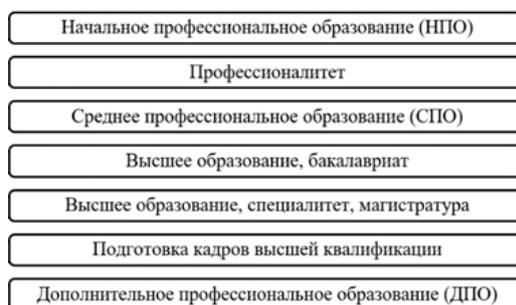


Рис. 1. Уровни профессионального образования
Fig. 1. Vocational education levels

В большинстве своем высшие учебные заведения не реализуют программы более низких уровней профессионального обучения. В Себряковском филиале ВолгГТУ многоуровневое профессиональное обучение реализуется по программам и направлениям начального профессионального обучения - 2 специальности; среднего профессионального - 5 специальностей; 5 направлений бакалавриата, 2 направления магистратуры и порядка 22 программ дополнительного профессионального образования. Итого в нашем учебном заведении реализуется 5 уровней профессионального обучения.

Также в 2022 году в России стартовала новая программа для специальностей среднего профессионального образования «Профессионалитет». «Профессионалитет» в скором времени может стать новым уровнем среднего профессионального образования, либо заменить его. Профессионалитет — это один из этапов проводимой Министерством Просвещения модернизации системы среднего профессионального образования.

Система, при которой студенты на специальностях среднего профессионального обучения обучаются четыре года, признается устаревшей, вместо этого студенты станут обучаться два-три года в зависимости от выбранного направления деятельности. Благодаря такой интенсификации образования и внедрению современных информационных технологий в учебные заведения нужные профессиональные навыки студента будут осваиваться в более

короткие сроки, а также подготовка специалистов станет менее затратной.

В своем послании Федеральному Собранию в 2023 году президент Российской Федерации В.В. Путин подчеркнул важность проекта «Профессионалитет», а также заявил, что данная программа будет расширена в ближайшем будущем [1].

Такая многоуровневость ВУЗа обусловлена необходимостью непрерывного профессионального образования в рамках одного заведения, которое обеспечивает высокое качество профессиональной подготовки, сокращение расходов на содержание инфраструктуры и студентов, а также позволяет более гибко подходить к решению актуальных задач развития экономики.

Многоуровневое профессиональное образование осуществляется в одном учебном заведении, поэтому имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- сокращаются расходы на студента, практически в два раза;
- есть возможность сократить сроки обучения за счет переаттестации некоторых пройденных дисциплин, при условии смежности специальности или направления подготовки;
- сокращается влияние демографии на набор абитуриентов, т.к. контингент на более высоких уровнях компенсируется на 20-25% за счет своих же выпускников по предыдущим этапам;
- оптимально используются имеющиеся в учебном заведении кадровые, учебно-лабораторные, методические и финансовые ресурсы.

Далее остро встает вопрос о непосредственной организации учебного процесса в многоуровневом высшем учебном заведении. Данный процесс основывается на грамотном составлении расписания занятий, которое должно связывать такие элементы информационной системы ВУЗа, как: общие службы, факультеты, отделения, кафедры, материально техническое обеспечение, федеральные и региональные стандарты, специальности, учебные планы, преподаватели, студенты, и прочие.

Ежегодно заведующие выпускающими кафедрами совместно с директором института (деканом факультета) составляют учебный план специальности/направления. Учебный план подписывают заведующий кафедрой и директор института (декан), проверяет начальник учебного отдела вуза, визирует проректор по учебно-методической работе, затем утверждает ректор [2, С. 92].

Методы исследования. Процесс разработки расписания и его последующая оптимизация является многокритериальным и многовариативным. Использовать точные математические методы не представляется возможным. В данном случае необходимо использовать стохастические (рандомизированные) методы оптимизации решения задач в теории расписаний.

Стохастические эвристические методы позволяют отыскать довольно близкие решения за относительно небольшое время. При этом большинство стохастических методов требуют тонкой настройки гиперпараметров и специальной модификации под конкретные задачи, что обеспечивает повышенную эффективность и быстродействие работ алгоритма.

Стоит упомянуть и простые стохастические методы случайного поиска, однако, по причине огромного количества ограничений и вариантов решения задачи использовать их не представляется возможности. Оптимальное расписание может быть найдено путем перебора конечного множества возможных вариантов. Однако количество возможных вариантов в любом случае окажется недопустимо огромным, по причине большой размерности задачи. К решению данной проблемы как ничто лучше подходит генетический алгоритм.

Генетические алгоритмы — это адаптивные методы поиска, которые в последнее время используются для решения задач оптимизации. В них используются как аналог механизма генетического наследования, так и аналог естественного отбора. При этом сохраняется биологическая терминология в упрощенном виде и основные понятия линейной алгебры [3, с. 6]. Основные принципы генетического алгоритма были сформулированы Джоном

Холландом в его книге «Адаптация в естественных и искусственных системах» в 1975 году и хорошо описаны во многих работах [4].

Генетические алгоритмы активно применяются в робототехнике, обучении нейронных сетей, составлении расписаний, оптимизации запросов к базам данных, поиске оптимальных маршрутов и т.д. Такие алгоритмы могут стать хорошим помощником в бизнесе, сократить убытки и увеличить прибыль за счёт выбора оптимальных стратегий [5]. К основным отличиям и преимуществам генетического алгоритма в сравнении с классическими методами следует отнести:

- генетический алгоритм работает с кодами, в которых представлен набор параметров, напрямую зависящих от аргументов целевой функции;
- в процессе поиска генетический алгоритм использует несколько точек поискового пространства (процесс распараллеливается), а не переходит от точки к точке, как это происходит в традиционных методах, т.е. генетический алгоритм оперирует со всей совокупностью допустимых решений;
- генетический алгоритм в процессе работы не использует никакой дополнительной информации, что повышает скорость его работы;
- генетический алгоритм использует как вероятностные правила для порождения новых точек поиска, так и детерминированные правила для перехода от одних точек к другим и др. [6].

Генетический алгоритм основан на итерационном подходе: алгоритм выполняется до тех пор, пока не выполнено условие останова, например, найдено подходящее значение функции пригодности, либо исчерпано количество поколений, заданное до начала работы алгоритма. Простой генетический алгоритм случайным образом генерирует начальную популяцию структур. Условия работы ГА задаются на этапе установки гиперпараметров [7-20]. К недостаткам генетических алгоритмов можно отнести следующее:

- оптимальное решение не гарантировано;
- сложность определения критериев отбора хромосом;
- высокая вычислительная ресурсоемкость генетических алгоритмов (устраняется путем размещения основной части вычислений в облачные сервисы);
- низкая эффективность на последних этапах работы алгоритма.

При составлении расписания существуют несколько типов требований и ограничений:

Обязательные требования:

- полное выполнение учебного плана;
- отсутствие пересечений дисциплин, преподавателей и аудиторий одно время;
- полная вместимость обучающихся в аудиторный фонд;
- оборудование аудиторий должно соответствовать рабочей программе учебной дисциплины;
- нагрузка обучающихся должна быть равномерно распределена по всей неделе.

Дополнительные требования:

- исключить перерывы между занятиями у преподавателей и обучающихся;
- не более пяти занятий в день;
- занятия должны начинаться с 1 пары;
- выполнение министерских рекомендаций, например, сначала проводить лекционные занятия, затем практические;
- минимальное количество и расстояние переходов между корпусами/аудиториями;
- учет занятости преподавателей.

Желательные требования:

- равномерная нагрузка в неделю;
- временная продолжительность расписания (расписание желательно составить, например на неделю для повторения в течение четверти/семестра)
- желательно не расставлять занятия таким образом, чтобы в один день проходили 3

одинаковых предмета;

- равномерная нагрузка на аудитории;
- учет пожеланий преподавателей;
- занятия в один день в одном корпусе.

Исходя из вышеизложенного, генетический алгоритм в чистом виде может быть применен, однако, эффективность нахождения окончательного решения задачи будет крайне низкой. На рис. 2 представлена схема работы генетического алгоритма, примененного к составлению расписаний занятий

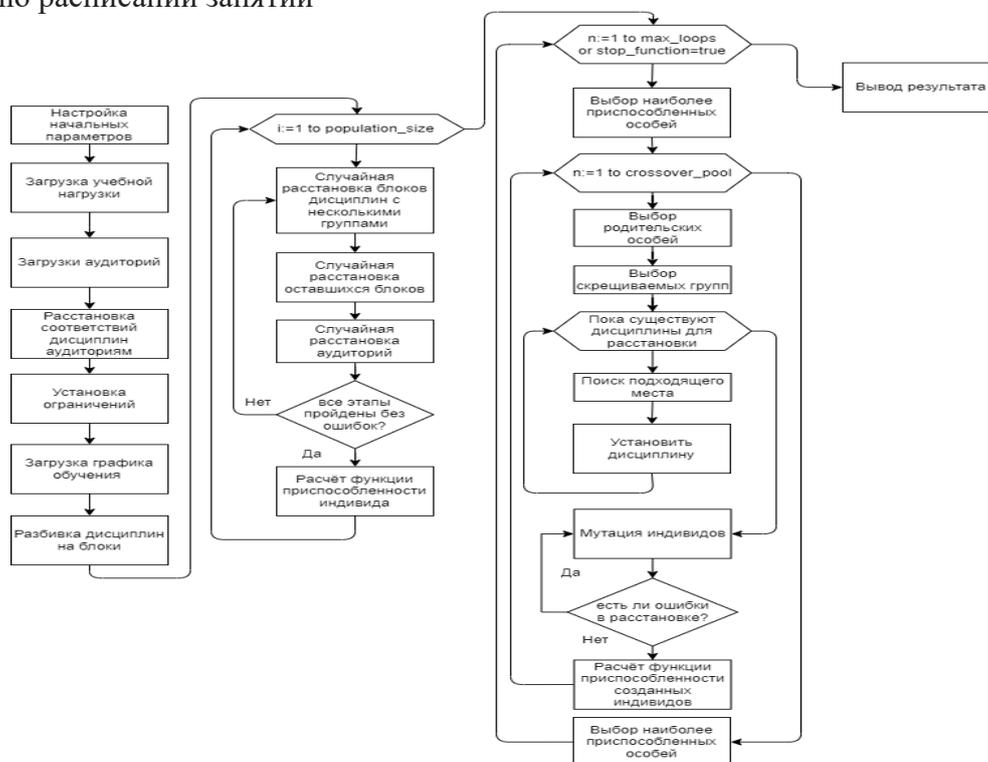


Рис. 2. Схема работы генетического алгоритма для составления расписаний

Fig. 2. Scheme of operation of the genetic algorithm for scheduling

Для оптимизации составления расписания на каждом этапе работы генетического алгоритма необходимо внедрить модификации.

1. Во-первых, в общем случае генетического алгоритма на первом этапе осуществляется формирование начальной популяции в случайном порядке. Такой подход не совсем подходит к текущей задаче, т.к. у нас имеется огромное количество ограничений, поэтому начальная популяция будет наполнена нерелевантными расписаниями с множеством пересечений дисциплин, преподавателей и кабинетов. В этом случае предлагается начальную популяцию составлять также случайным образом, но сразу с соблюдением выстраиваемых примитивов (например, чтобы в одной аудитории не велось два занятия).
2. Селекция. На втором этапе селекции особей происходит выборка особей с максимальной функцией пригодности. Модифицировать этот этап предлагается следующим образом: будем запоминать среднюю функцию пригодности всей популяции для отслеживания процесса приближения к оптимальному решению. В случае если функция пригодности не будет улучшаться на нескольких поколениях, то предлагается использовать механизм «встряски популяции» и «внезапной мутации».
3. Кроссинговер. Третий этап заключается в скрещивании родительских особей для создания хромосом потомков. Пары родительских особей подбираются случайным образом, затем в случайной позиции гена происходит обмен участками генетического материала. При скрещивании предлагается скрещивать не пару особей, а при определенных условиях даже три или четыре особи. В ходе программной реализа-

ции было решено, что особи будут обмениваться погруппно, т.к. это наиболее логичное решение для многоуровневого вуза с большим количеством групп. Больше двух «родителей» для составления расписания позволит произвести ту самую «встряску популяции», о которой говорилось выше.

4. Мутация. Этот оператор позволяет случайным образом изменить особь по определенным требованиям. Данной этап работы ГА предстоит провести в два этапа: на первом этапе, после скрещивания особей в любом случае придется немного подредактировать особь для устранения возникших коллизий и пересечений. Вторым этапом мутации будет являться перемещение случайной дисциплины случайной группы в случайное доступное место в расписании. Также при стагнации среднего показателя функции пригодности будет выполняться мутация всего поколения в соответствии с естественным процессом эволюции при резком изменении природных условий среды обитания.
5. Остановка. Выполняется проверка выполнения условия остановки работы алгоритма. В случае достигнутого допустимого значения функции пригодности процесс останавливается.
6. Вывод результата. На последней итерации определяется конечная особь, которая максимально удовлетворяет установленным гиперпараметрам и функции пригодности.

Эти модификации могут помочь производительности алгоритма при условии, что они соответствуют конкретным требованиям схемы расписания учебного заведения.

Обсуждение результатов. Представленные шаги по модификации ГА привели к тому, что некоторые модификации имеют небольшой эффект для улучшения особей из поколения в поколение, другие же напротив приводят к очень хорошим результатам. Например, выяснено, что создание готовых расписаний в качестве исходной популяции позволяет сократить время работы алгоритма в разы. Также модификация в виде вынужденной мутации при перестановке групп в расписании позволяет более точно расставлять занятия в окна между занятиями, что также способствует улучшению последующих популяций (рис.3).

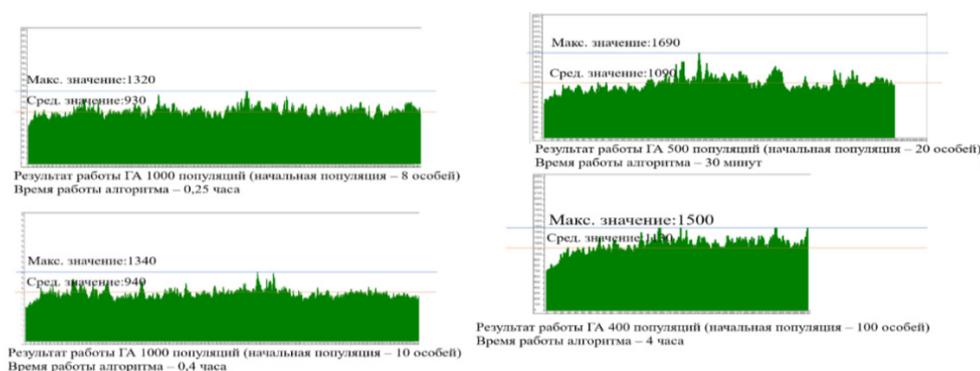


Рис. 3. Результаты испытаний
Fig. 3. Test results

Такие гиперпараметры способствуют увеличению времени работы алгоритма из-за обработки больших массивов данных. Именно эту проблему может решить использование параллелизации вычислений и облачные технологии.

Вывод. Многоуровневый ВУЗ обладает неоспоримыми преимуществами относительно классических в образовательном плане, однако в плане организации информационного взаимодействия между структурами требует специального подхода. Построив четкую алгоритмическую модель и реализовав программный комплекс на основе генетического алгоритма можно автоматизировать большую часть работ по созданию расписаний учебных занятий многоуровневого высшего учебного заведения. Данная автоматизация позволит сократить трудовые, временные и материальные затраты персонала высшего учебного заведения с нескольких недель до нескольких минут. Сократится влияние человеческого фактора. Модификация генетического алгоритма оптимизации автоматизированного составления расписания

многоуровневого ВУЗа способна решить сложности разработки программных комплексов подобного класса. Предлагаемые методы модификации генетического алгоритма позволяют сократить время работы алгоритма и оптимизировать процесс поиска результата.

Библиографический список:

1. Минпросвещения России: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://edu.gov.ru/press/6567/vladimir-putin-poruchil-v-techenie-pyati-let-podgotovit-poryadka-1-mln-rabochih-kadrov/> (Дата обращения: 10.04.2023)
2. Космачева И. М. Автоматизированная система формирования рабочих программ учебных дисциплин / И. М. Космачева, И. Ю., И. В. Сибикина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 1. – С. 90-97.
3. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы. Учеб. пособ., Изд. дом «Астраханский университет», 2007.
4. Holland, J. H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence.* USA: University of Michigan, 1975.
5. А. Ф. Рогачев, Д. С. Захаров. Использование модифицированных генетических алгоритмов для составления расписаний// Инновационное развитие строительного комплекса региона: задачи, состояние, перспективы : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции Себряковского филиала ФГБОУ ВО «ВолГТУ», Михайловка-Волгоград, 15 октября 2019 года / Редколлегия: С.Е. Карпушова (отв. ред.) [и др.]. – Михайловка-Волгоград: Волгоградский государственный университет, 2020. – С. 238-240.
6. Васильев, В.И. Интеллектуальные системы управления с использованием генетических алгоритмов: Учебное пособие / В.И. Васильев // УГАТУ. Уфа: Изд-во УГАТУ, 1999. - 105 с.
7. Мясников, А. С. Островной генетический алгоритм с динамическим распределением вероятностей выбора генетических операторов / А. С. Мясников // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – № 1. – С. 3.
8. Частикова, В. А. Исследование основных параметров генетического алгоритма метода генетических схем в интеллектуальных системах, основанных на знаниях / В. А. Частикова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 69. – С. 151-163.
9. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям «Информатика и вычислительная техника» и «Информационные системы» / Л. А. Гладков, В. М. Курейчик, В. В. Курейчик; под ред. В.М. Курейчика. – Издание 2-е, исправленное и дополненное. – Москва : Физматлит, 2006. – 319 с. – ISBN 5-9221-0510-8.
10. Емельянов, В. В. Теория и практика эволюционного моделирования / В. В. Емельянов, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – Москва : ООО Издательская фирма «Физико-математическая литература», 2003. – 431 с. – ISBN 5-9221-0337-7.
11. Курейчик, В. М. Генетические алгоритмы и их применение / В. М. Курейчик ; Таганрогский радиотехнический университет. – 2-е издание, дополненное. – Таганрог : Таганрогский государственный радиотехнический университет, 2002. – 242 с.
12. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов// Информационные технологии. – 2012. – № S7. – С. 1-32.
13. Тенев, В. А. Генетические алгоритмы в моделировании систем : монография / В. А. Тенев; В.А. Тенев, Б.А. Якимович ; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Ижевский гос. технический ун-т». – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – 306 с. – ISBN 978-5-7526-0472-0.
14. Бураков, М.В. Генетический алгоритм: теория и практика / М. В. Бураков ; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2008. – 164 с.
15. Шайтура, С. В. Интеллектуальные системы и технологии / С. В. Шайтура ; Институт гуманитарных наук, экономики и информационных технологий. – Бурнас : Институт за гуманитарни науки, икономика и информационни технологии=Институт гуманитарных наук, экономики и информационных наук, 2016. – 83 с.
16. Ярушкіна, Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем / Н. Г. Ярушкіна. – Москва : Издательство «Финансы и статистика», 2004. – 320 с. – ISBN 5-279-02776-6.
17. Карпенко, А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой / А. П. Карпенко. – Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2014. – 448 с.
18. Сологуб, Е. Б. Спортивная генетика : учебное пособие для высших учебных заведений физической культуры / Е. Б. Сологуб, В. А. Таймазов. – Москва : Терра-Спорт, 2000. – 127 с.
19. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – Москва : Горячая линия–Телеком, 2013. – 384 с.

20. Курейчик, В. М. Модифицированные генетические операторы / В. М. Курейчик // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 12(101). – С. 7-14.

References:

1. Within five years, about 1 million workers will be trained . The ministry of education of the russian federation. 2023. URL: <https://edu.gov.ru/press/6567/vladimir-putin-poruchil-v-techenie-pyati-let-podgotovit-poryadka-1-mln-rabochih-kadrov/>. (accessed: 10.04.23) (In Russ)
2. Kosmacheva I.M. Automated system of creation of working programs of academic disciplines / I.M. Kosmacheva, I.Yu. Kvyatkovskaya, I.V. Sibikina. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2016; 1: 90-97. (In Russ)
3. Panchenko T.V. Genetic algorithms Astrakhan:Izdatelskii dom «Astrakhanskii universitet»,2007; 88(In Russ)
4. Holland J.H Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence. Michigan: University of Michigan, 1975; 208.
5. Rogachev A.F. Using modified genetic algorithms for scheduling / A.F. Rogachev, D.S. Zakharov // Innovative development of the construction complex of the region: tasks, state, prospects : Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference of the Sebyakovsky branch VSTU; edited by Karpushova S.E. Mikhailovka-Volgograd: Volgogradskii gosudarstvennii universitet, 2020; 238-240. (In Russ)
6. Vasilev V.I. Intelligent control systems using genetic algorithms.UFA: UGATU, 1999; 105. (In Russ)
7. Myasnikov A.S. Island genetic algorithm with dynamic probability distribution of selection of genetic operators. *Science and Education of Bauman MSTU*. 2010; 1: 3. (In Russ.)
8. Chastikova V.A. Research of key genetic algorithm parameters of the genetic schemes method in intelligent systems, based on knowledge. *Scientific Journal of KubSAU*. 2011; 69: 151-163. (in Russ)
9. Gladkov L.A. Genetic algorithms : a textbook for university students studying in the areas of “Computer Science and Computer Engineering” and “Information Systems” L.A. Gladkov, V.M. Kureichik, V.V. Kureichik. Moskva : Fizmatlit, 2006; 319. (In Russ)
10. Yemelyanov V.V. Theory and practice of evolutionary modeling. V.V. Yemelyanov, V.V. Kureichik, V.M. Kureichik. M.: OOO Izdatelskaya firma “Fiziko-matematicheskaya literatura”, 2003;431 (In Russ)
11. Kureychik, V. M. Genetic algorithms and their application; Taganrog Radio Engineering University. 2nd edition, supplemented. Taganrog : Taganrog State Radio Engineering University, 2002; 242. (In Russ)
12. Karpenko, A. P. Population algorithms of global search optimization. Review of new and little-known algorithms. *Information Technologies*. 2012; 7:1-32. (In Russ)
13. Tenenev, V. A. Genetic algorithms in system modeling : monograph / V. A. Tenenev; V. A. Tenenev, B.A. Yakimovich ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, State Educational Institution of Higher Education. Prof. education “Izhevsk State Technical University”. Izhevsk : Publishing House of IzhSTU, 2010; 306. (In Russ)
14. Burakov M. V. Genetic algorithm: theory and practice. St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2008; 164. (In Russ)
15. Shaitura S. V. Intelligent systems and technologies; Institute of Humanities, Economics and Information Technologies. Burgas : Institute for Humanitarianism of Science, Economics and Information Technology=Institute of Humanities, Economics and Information Sciences, 2016; 83. (In Russ)
16. Yarushkina, N. G. Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems. Moscow : Publishing House “Finance and Statistics”, 2004; 320. (In Russ)
17. Karpenko, A. P. Modern search engine optimization algorithms. Algorithms inspired by nature Moscow : Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2014; 448. (In Russ)
18. Sologub, E. B. Sports genetics : a textbook for higher educational institutions of physical culture / E.B. Sologub, V. A. Taymazov. Moscow : Terra-Sport, 2000; 127. (In Russ)
19. Rutkovskaya, D. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. D. Rutkovskaya, M. Pilinsky, L. Rutkovsky. Moscow : Hotline–Telecom, 2013; 384. (In Russ)
20. Kureychik, V. M. Modified genetic operators. *Izvestiya SFU. Technical sciences*. 2009; 12 (101): 7-14. (In Russ)

Сведения об авторе:

Захаров Дмитрий Сергеевич, аспирант, zakator@bk.ru, ORCID: 0009-0009-6665-510X

Information about authors:

Dmitriy S. Zakahrov, Postgraduate student, zakator@bk.ru, ORCID: 0009-0009-6665-510X

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 12.05.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 30.05.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 30.05.2023.