

Э

Э

Т

# ЭЛЕКТРОНИКА И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА

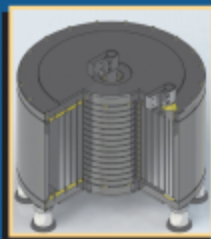
научно-технический журнал

№ 6  
2017

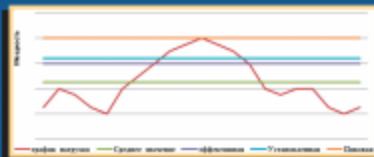
ISSN 1812-6782

## В НОМЕРЕ:

Сглаживающий реактор фильтр-устройства  
тяговой подстанции постоянного тока  
с замкнутым магнитным потоком



Расчёт мощности присоединения  
тяговых подстанций ОАО «РЖД»  
и метрополитенов



Информационно-диагностическая  
система контроля технического состояния  
инфраструктуры и подвижного состава  
метрополитена



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Периодический рецензируемый научно-технический журнал «Электроника и электрооборудование транспорта» является коллективным членом Академии электротехнических наук РФ.

Учредитель и издатель – Научно-производственное предприятие «Томилкинский электронный завод».

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК для апробации кандидатских и докторских диссертаций.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС 77-29963 от 17 октября 2007 г.

Главный редактор: А.Г. Бабак, к.т.н.

## Редакционный совет:

М.П. Бадёр, д.т.н., профессор, Л.А. Герман, д.т.н., профессор, В.Н. Дианов, д.т.н., профессор, Ю.М. Иньков, д.т.н., профессор, К.Л. Ковалёв, д.т.н., профессор, А.С. Космодамианский, д.т.н., профессор, А.С. Мазнёв, д.т.н., профессор, Г.Г. Рыбцев, д.т.н., профессор, В.И. Сарбаев, д.т.н., профессор, В.Е. Ют, д.т.н., профессор.

Выпускающий редактор: Н.А. Климчук.

## Редакция:

140070, Московская область, Люберский район, п. Томилкино, ул. Гаршина, д. 11.  
Тел./факс: (495) 500-40-20  
E-mail: npptez@mail.ru  
Сайт: www.npptez.ru

## Подписано в печать:

\_\_\_12.2017 г.

## Отпечатано:

ГУП МО «Коломенская типография», 140400, г. Коломна, ул. III Интернационала, д. 2а.  
E-mail: bab40@yandex.ru

Формат 60х90/8, бумага мелованная, объем 7 пл., тираж 1000 экз., заказ 1613

## Баранов Л.А., Евсеев Д.Г.

Анализ методических погрешностей аналого-цифрового преобразования скорости движения подвижного состава при формировании виртуальных каналов ..... 2

## Космодамианский А.С., Стрекалов Н.Н., Пугачев А.А.

Управление частотой коммутации для регулирования температуры тяговых полупроводниковых приборов ..... 7

## Бадёр М.П., Лобынцев В.В., Дураков Д.Н., Динисилов А.С., Дожина Г.В., Бурсук В.И.

Разработка сглаживающего реактора фильтр-устройства тяговой подстанции постоянного тока с замкнутым магнитным потоком ..... 12

## Иньков Ю.М., Глызин И.И.

Электрооборудование для высокоскоростных электропоездов перспективной системы электрической тяги ..... 17

## Гречишников В.А., Шаламай И.В., Власов С.П., Куров Н.Д.

Расчёт мощности присоединения тяговых подстанций ОАО «РЖД» и метрополитенов ..... 21

## Косарев Б.И., Косарев И.А.

Заземление металлических ограждений посадочных платформ на электрифицированных участках переменного тока ..... 26

## Лисенков А.Н., Косарев А.Б.

О методологии многофакторного эксперимента в задачах исследования электротехнических устройств железнодорожного транспорта ..... 31

## Сидоренко В.Г., Чжо М.А.

Исследование возможности применения генетических алгоритмов к решению задач планирования работы электроподвижного состава метрополитена ..... 37

## Шевлюгин М.В., Зеленская И.В., Жуматова А.

Оценка потенциала ветровой электроэнергии для использования в системе тягового электроснабжения железных дорог ..... 41

## ДИАГНОСТИКА И ИСПЫТАНИЯ

## Алексеев В.М.

Информационно-диагностическая система контроля технического состояния инфраструктуры и подвижного состава метрополитена ..... 46

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д.т.н., профессор Баранов Л.А.  
+7-495-684-22-88

Д.т.н., профессор Космодамианский А.С.  
+7-909-915-72-63

Д.т.н., профессор Бадёр М.П.  
+7-495-684-22-87

Д.т.н., профессор Иньков Ю.М.  
+7-495-684-23-90

Д.т.н., доцент Гречишников В. А.  
+7-916-625-43-03

Д.т.н., профессор Косарев Б.И.  
+7-499-154-89-90

Д.т.н., профессор Лисенков А.Н.  
+7-916-570-80-43

Д.т.н., профессор Сидоренко В.Г.  
+7-916-217-50-76

Д.т.н., доцент Шевлюгин М.В.  
+7-916-528-67-68

Д.т.н., профессор Алексеев В.М.  
+7-926-277-92-28

# Исследование возможности применения генетических алгоритмов к решению задач планирования работы электроподвижного состава метрополитена

// An investigation into the possibilities of genetic algorithm application to solve the underground electric rolling stock scheduling problem //

Сидоренко В.Г., д. т. н., профессор,  
Чжо М.А.,  
РУТ (МИИТ), Москва

Работа является продолжением серии публикаций на тему применения генетических алгоритмов к решению задачи организации технического обслуживания электроподвижного состава метрополитена. Авторами выполнена адаптация алгоритмов кроссинговера, реализуемых в рамках генетического алгоритма, к особенностям решаемой задачи. Исследованы возможность применения для решения задачи построения ГА различных типов кроссинговера и влияние параметров генетического алгоритма на полученные результаты. Представлены результаты решения задачи с использованием генетического алгоритма.

**Ключевые слова:** электроподвижной состав, техническое обслуживание, генетический алгоритм, оптимизация, планирование.

*This paper is a part of continuation publications on the topic of genetic algorithms application to the scheduling of underground rolling stock maintenance. The authors implemented the adaptive crossover selection algorithms within the genetic algorithm framework according to the features of the scheduling problem. Then the authors investigated the possibilities of genetic algorithm by using the different crossover types in solving rolling stock scheduling problem, and the influence of parameters in genetic algorithm on the results obtained. The results of genetic algorithm application are described.*

**Keywords:** electric rolling stock, technical maintenance, genetic algorithm, optimization, scheduling.

как основы обеспечения безопасности сложных транспортных систем [1]. Настоящая публикация является продолжением указанной темы, в статье представлены результаты адаптации генетического алгоритма (ГА) к особенностям решаемой задачи.

Ключевыми моментами создания ГА являются [2]:

- описание хромосомы;
- описание фитнес-функции для каждой хромосомы в популяции;
- создание способа кроссинговера, учитывающего особенности задачи.

Вопросы описания хромосомы и фитнес-функции рассмотрены в [1, 3]. В данной статье акцентируется внимание на создании способов кроссинговера, учитывающих особенности задачи.

На рис. 1 представлена классификация алгоритмов кроссинговера [1]. На основе ранее известных алгоритмов кроссинговера формализованы и реализованы новые.

При одноточечном и двухточечном кроссинговерах появляются два потомка. При одноточечном кроссинговере случайным образом определяется

В 2016 году в журнале «Электроника и электрооборудование транспорта» была опубликована статья, посвященная

различным подходам к организации технического обслуживания электроподвижного состава (ЭПС) метрополитена



Рис. 1. Классификация алгоритмов кроссинговера



Рис. 2. Одноточечный кроссинговер



Рис. 3. Двухточечный кроссинговер

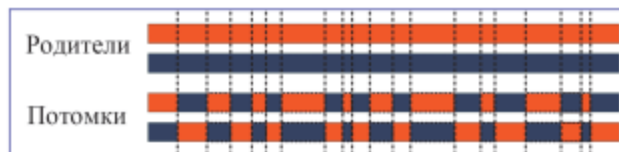


Рис. 4. Равномерный кроссинговер

локус, левее которого, включая указанный локус, хромосома одного потомка является копией хромосомы одного родителя, а правее – другого. У второго потомка наоборот (рис. 2) [3].

При двухточечном кроссинговере случайным образом определяются значения двух локусов. У первого потомка между выбранными локусами, включая их самих, хромосома является копией хромосомы первого родителя, а вне – второго. У второго потомка наоборот (рис. 3).

При рассеянном (равномерном) кроссинговере аллель гена потомка равна аллели гена одного из родителей, имеющего тот же локус. Выбор родителя осуществляется случайным образом (рис. 4).

При арифметическом и промежуточном кроссинговере аллель гена потомка определяется как средневзвешенное значение аллелей генов родителей, имеющих тот же локус, с учетом ограничений на область допустимых значений. Сумма весов аллелей родителя равна

единице, веса определяются пользователем алгоритма. Разница арифметического и промежуточного кроссинговеров заключается в различии диапазона изменения одного из весов.

При эвристическом кроссинговере хромосома потомка является концом вектора, полученного путем умножения исходного вектора на константу, большую единицы. Началом исходного вектора является хромосома родителя с худшим значением фитнес-функции, концом – хромосома родителя с лучшим значением фитнес-функции. Начала исходного и результирующего векторов совпадают. При изменении длины вектора учитываются ограничения на область допустимых значений.

Арифметический, эвристический и промежуточный кроссинговеры могут применяться как к номерам кандидата в множестве кандидатов, упорядоченном в лексикографическом порядке, так и отдельно к каждому компоненту

кортежа, а затем по полученным значениям определяется номер кандидата в множестве кандидатов. В первом случае реализуется работа с аллелью как со скаляром, а во втором – как с вектором.

Компоненты кортежа  $k = (p, t)$ , описывающего кандидата, имеют разную природу: время  $k: t$  и место  $k: p$  [4]. При арифметическом, эвристическом и промежуточном способах кроссинговера это необходимо учесть.

При первом (скалярном) способе кроссинговер применяется непосредственно к номерам кандидата в множестве кандидатов, упорядоченном в лексикографическом порядке, как показано на рис. 5 и 6. Значение аллели изменяется в пределах от единицы до количества кандидатов  $N_c$ .

Для арифметического и промежуточного кроссинговеров выражения, в соответствии с которыми выполняется вычисление, имеют вид

$$c = \alpha \text{parent1} + (1-\alpha) \text{parent2}, \quad (1)$$

где  $\text{parent1}$ ,  $\text{parent2}$  – значения аллелей родителей, причем

$$\text{score}(\text{parent1}) \leq \text{score}(\text{parent2}),$$

где  $\text{score}$  – значение фитнес-функции;

$c$  – результат вычисления значения аллели потомка без учета ограничения на диапазон изменения;

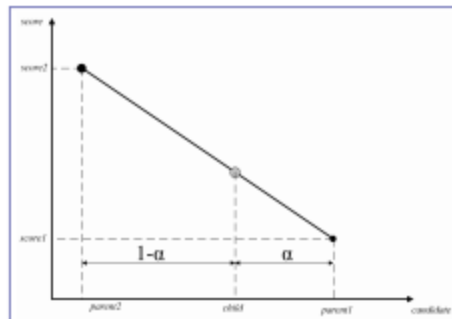


Рис. 5. Арифметический и промежуточный кроссинговеры в скалярном виде

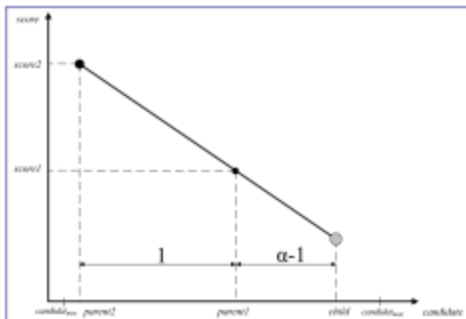


Рис. 6. Эвристический кроссинговер в скалярном виде

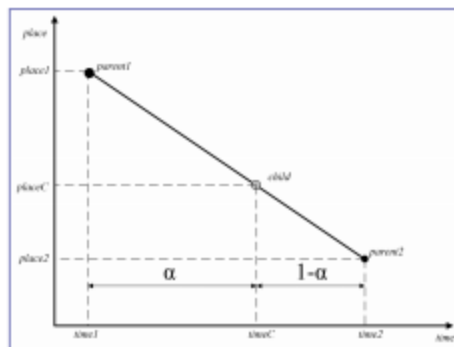


Рис. 7. Арифметический и промежуточный кроссинговеры в векторном виде

$\alpha$  – весовой коэффициент:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha \leq 1 & \text{при арифметическом} \\ \alpha \leq h < 1 & \text{при промежуточном} \end{cases};$$

$h$  – максимальное значение весового коэффициента, заданное пользователем.

Для эвристического кроссинговера выражения, в соответствии с которыми выполняется вычисление, имеют вид

$$c = \text{parent2} + a(\text{parent1} - \text{parent2}), \quad (2) \\ a > 1.$$

Ограничение на диапазон изменения значения аллели потомка *child* реализуется следующим образом:

$$\text{child} = \begin{cases} c, & \text{если } 1 \leq c \leq N_k \\ 1, & \text{если } 1 > c \\ N_k, & \text{если } c > N_k \end{cases}. \quad (3)$$

При втором (векторном) способе, как показано на рис. 7 и 8, действия применяются отдельно к каждому компоненту кортежа, а затем по полученным значениям определяется номер кандидата в упорядоченном множестве кандидатов, который определит значение аллели.

К компоненте «Время  $k:t_k$ » применяется непосредственно используемый тип кроссинговера. Вычисления проводятся по формулам, аналогичным (1–3).

К компоненте «Место  $k:r_k$ » кроме арифметического, эвристического и промежуточного может применяться еще рассеянный (равномерный) тип кроссинговера.

На рис. 9–11 представлены результаты построения ГА для одной из линий Московского метрополитена с использованием разработанной системы

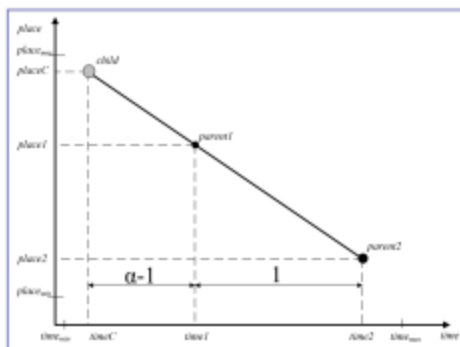


Рис. 8. Эвристический кроссинговер в векторном виде

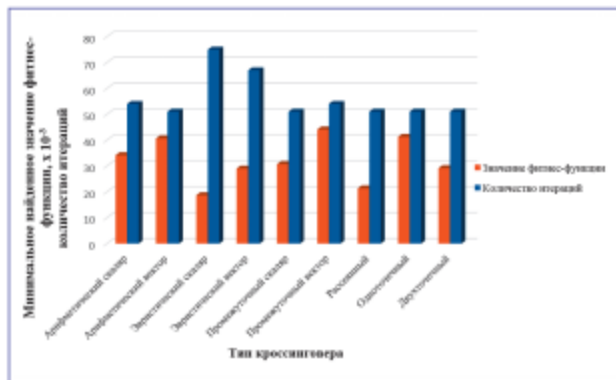


Рис. 9. Зависимость минимального найденного значения фитнес-функции и выполненного количества итераций от алгоритма кроссинговера

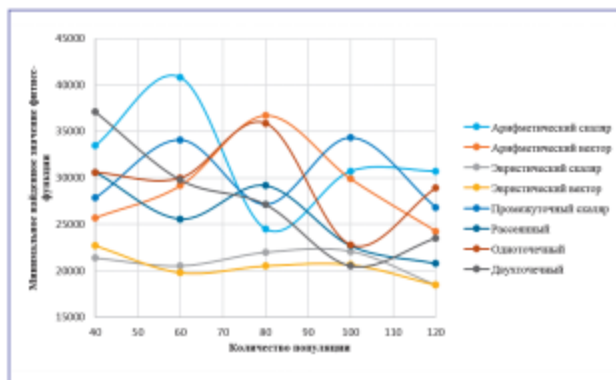


Рис. 10. Зависимость минимального найденного значения фитнес-функции от размера популяции и алгоритма кроссинговера

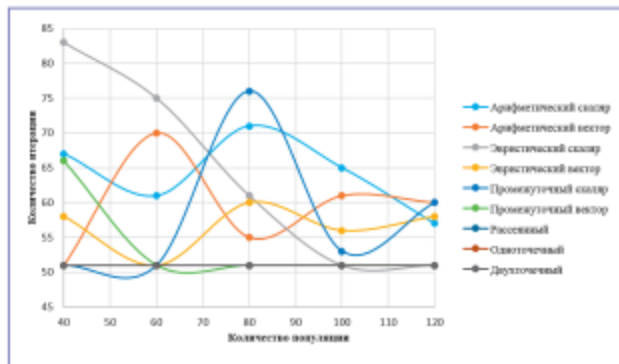


Рис. 11. Зависимость выполненного количества итераций от размера популяции и алгоритма кроссингвера

поддержки принятия решения (СППР), позволяющей выполнять численное решение оптимизационных задач генетическими алгоритмами. Данные, приведенные на графиках, позволяют проанализировать функционирование различных алгоритмов кроссингвера.

При одной и той же начальной популяции (совокупность особей, рассматриваемая на итерации эволюции) разные алгоритмы кроссингвера приводят к правильному решению (признаком остановки работы алгоритма является то, что значение фитнес-функции изменяется медленнее допустимого) за разное количество итераций, различающееся почти на треть. При этом не всегда увеличение числа итераций приводит к уменьшению значения фитнес-функции, значения которой могут различаться более чем в два раза (рис. 9).

Рис. 10–11 иллюстрируют зависимость параметров решения задачи от размера популяции. Из информации, представленной на графиках, видно, что увеличение размера популяции приводит к тому, что при всех алгоритмах кроссингвера завершение работы ГА происходит после меньшего количества итераций. При этом различие между

минимальными найденными значениями фитнес-функции при использовании различных алгоритмов кроссингвера сокращается.

#### Литература

1. Сидоренко В.Г., Чжо Мин Аунг. Применение генетических алгоритмов к решению задачи планирования работы электроподвижного состава метрополитена // Электроника и электрооборудование транспорта, № 6, 2016. – С. 13–16.
2. Thomas Weise. Global optimization algorithms. Theory and application: Genetic Algorithms, 2009, p. 141–156.
3. Crossover (genetic algorithm), 31 Июль 2017. [В Интернете]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Crossover\\_\(genetic\\_algorithm\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Crossover_(genetic_algorithm)).
4. Сидоренко В.Г., Филипенко К.М. Метод эффективного планирования обслуживания с применением теории графов. Информатизация образования и науки. – М.: ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика», т. 4, № 28, 2015, с. 123–132.
5. Сидоренко В.Г., Чжо Мин Аунг. Автоматизированное управление безопасностью эксплуатации электроподвижного состава метрополитена // Труды XXIV международной научной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – М.: РГТУ, 2016. – С. 202–205.

#### Сидоренко Валентина Геннадьевна

Родилась в 1972 году. В 1994 году окончила Московский институт инженеров транспорта (МИИТ) по специальности «Автоматика и управление в технических системах». Доктор технических наук, профессор. В 2004 году защитила диссертацию по теме «Методологическое и алгоритмическое обеспечение автоматизации управления движением поездов метрополитена». Опыт работы – более 20 лет. В настоящее время работает профессором кафедры «Управление и защита информации» РУТ (МИИТ) и профессором кафедры «Моделирование и оптимизация бизнес-процессов» НИУ ВШЭ. Имеет 171 научный труд.

#### Чжо Мин Аунг

Родился в 1991 году. В 2014 году окончил Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) по специальности «Управление и информатика в технических системах». В настоящее время учится в аспирантуре кафедры «Управление и защита информации» РУТ (МИИТ). Имеет 13 научных трудов.

#### Sidorenko Valentina

She was born in 1972. In 1994 she graduated from the Moscow Institute of Railway Engineering (MIIT), majoring in Automation and Control of Technical Systems. She is Doctor of Technical Sciences, Professor. In 2004, she defended her thesis on the topic «Methodological and algorithmic support of the traffic control automation of tube trains». She has more than 20 years of work experience. At present she works as professor at «Information management and protection» department of Russian University of Transport (MIIT) and professor of «Modeling and optimization of business processes» department of the Higher School of Economics. He has 171 scientific papers.

#### Zhuo Ming Aung

Was born in 1991. In 2014 he graduated from Moscow State University of Railway Engineering majoring in «Automation and control in engineering systems». At present he studies in postgraduate school of «Management and data protection» department of Moscow State University of Railway Engineering. He has 13 scientific works.