

# Разработка модуля расстановки зарядных станций для электротранспорта на основе генетического алгоритма

С. В. Теплоухов, С. В. Онищенко, Т. Ю. Бычков,  
П. Ю. Бучацкий, Д. Н. Лисов

*Адыгейский государственный университет*

tepl\_sv@adygnet.ru, osv@adygnet.ru, bychkov.timof@gmail.com,  
buch@adygnet.ru, lisov\_dn@adygnet.ru

**Аннотация.** Реализация стратегий энергетической трансформации привели к ощутимым изменениям в подходах к организации современных энергетических систем за счет вовлечения новых источников генерации и новых видов потребителей, требующих более четкого планирования и организации распределенных систем. Одним из примеров подобных новшеств является повсеместное появление электротранспорта в крупных городах, который приобретает повсеместное распространение. Данный процесс обусловлен различными факторами, наиболее важным из которых является фактор экологической безопасности современного общества. Несмотря на то, что развитие технологий делает подобный транспорт все более способным и конкурентноспособным с традиционными видами, возникают некоторые ограничения, обусловленные прежде всего малой автономностью подобных средств, что приводит к необходимости организации специализированных пунктов зарядки.

Проблема расположения зарядных станций предполагает определение наиболее оптимальных мест для размещения станции, в зависимости от выбранных параметров целевой функции, для чего используются различные подходы: линейное программирование, многокритериальная и мета-эвристическая оптимизация, генетические и эволюционные алгоритмы. В данной работе рассмотрен процесс реализации программного модуля определения оптимальных мест размещения зарядных станций электротранспорта, основанного на использовании генетического алгоритма, основным критерием которого является максимальный показатель утилизации эксплуатируемых станций.

**Ключевые слова:** генетические алгоритмы; оптимизация; электротранспорт; зарядные станции

## I. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы электротранспорт получает широкое распространение (Рис. 1), чему способствует развитие технологий накопления энергии [1] и появление новых конструкций электродвигателей, позволяющих обеспечить высокую конкурентоспособность данного вида транспортных средств [2].

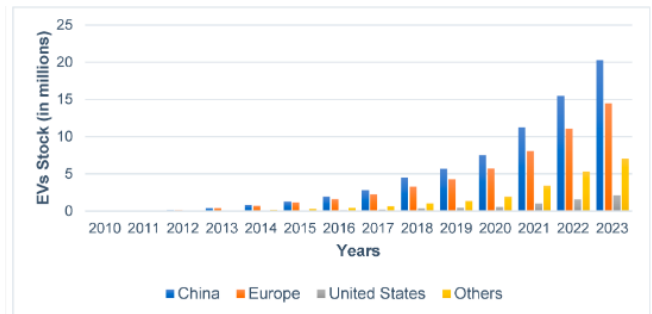


Рис. 1. Глобальный парк электромобилей в разбивке по странам, включая как аккумуляторные электромобили, так и подключаемые гибридные электромобили [3]

Активному распространению личного и общественного электротранспорта способствуют несколько основных факторов:

- экологичность. Автомобили, работающие на электричестве, не вырабатывают парниковых газов, являющихся одной из основных причин пагубного влияния на климат [4], [5];
- высокая энергоэффективность. Электромобили обладают большим КПД по сравнению с традиционными двигателями внутреннего сгорания, что позволяет более эффективно использовать энергию и снижать общие затраты на «топливо» и общие эксплуатационные затраты [6];
- снижение зависимости от углеводородных ресурсов. Большая доля электромобилей от общего числа транспорта снижает экономические и геополитические риски, а также повышает энергетическую безопасность;
- снижение уровня шума и вибраций. Использование электромобилей позволяет несколько сгладить общий «звуковой фон» [7], являющийся важным фактором воздействия на здоровье людей.

При этом, с внедрением и ростом числа электромобилей возникает целый ряд задач, связанных с созданием и оптимизацией соответствующей энергетической инфраструктуры [8]:

- организация интеллектуальных систем управления распределенной энергетической инфраструктурой;
- обеспечения устойчивости электроснабжения;
- организация эффективной интеграции в существующую энергетическую систему.

Данные задачи можно отнести ко второму этапу эффективного использования электротранспорта, во время как первоочередной проблемой является определение предполагаемых мест установки зарядных станций, позволяющих покрыть существующий спрос.

В связи с этим, в работе рассмотрен процесс реализации модуля расстановки зарядных станций для электротранспорта на основе использования генетического алгоритма, при реализации которого учитываются два основных фактора оптимизации итогового решения: параметр утилизации эксплуатируемых станций, и использование приоритетных точек (парковочных зон), используемых как первоначальный набор потенциальных координат для размещения станций

## II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проблема определения предполагаемого места размещения зарядной станции является известной задачей, для решения которой используются различные подходы и способы оптимизации, такие как: генетические и эволюционные алгоритмы, нейронные сети [9], методы многокритериальной оптимизации [10], классификация которых представлена на рис. 2.

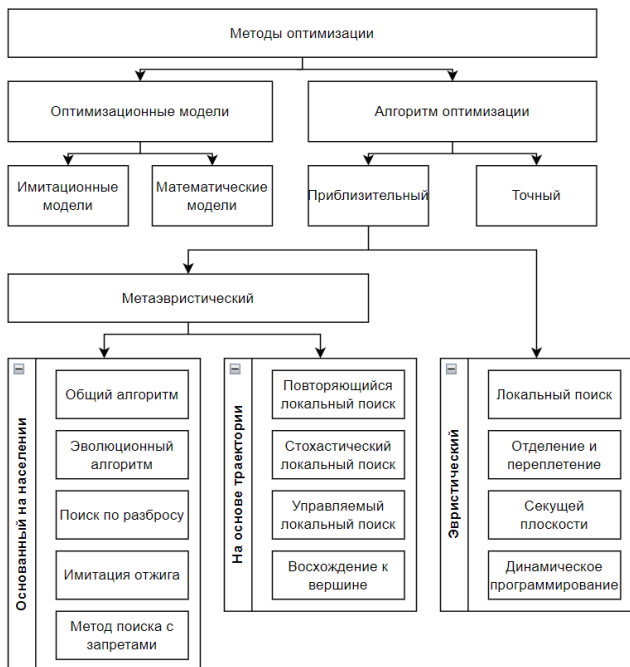


Рис. 2. Классификация методов оптимизации

После выбора предполагаемого метода оптимизации, возникает задача формирования входных параметров, представляющих из себя некоторые пространственные данные, определение системы ограничений и ключевого

параметра оптимизации. Существуют два основных подхода к решению подобных задач:

- конфигурация «объект – локация» подразумевает, что оптимизация осуществляется на определенном наборе заранее определенных мест [11];
- формулировка «от объекта к месту», подразумевающая свободное размещение зарядных станций в пределах некоторой области применения для покрытия существующих потребностей [12].

Второй подход является более сложным, требует больше входящих параметров, которые не всегда могут быть получены из открытых источников данных, поэтому воспользуемся первой формулировкой задачи оптимизации «объект-локация»

Таким образом, необходимо определиться с предварительным набором предполагаемых координат размещения, сведения о которых можно получить посредством использования средства OpenStreetMap [13]. Полученное множество может быть чрезмерно избыточным, потому для эффективной работы оптимизационного алгоритма получим часть исходных значений, используя значения радиуса охвата зарядной станции и формулу Хаверсина [14]. Общий алгоритм работы всей программы представлен на рис. 3.

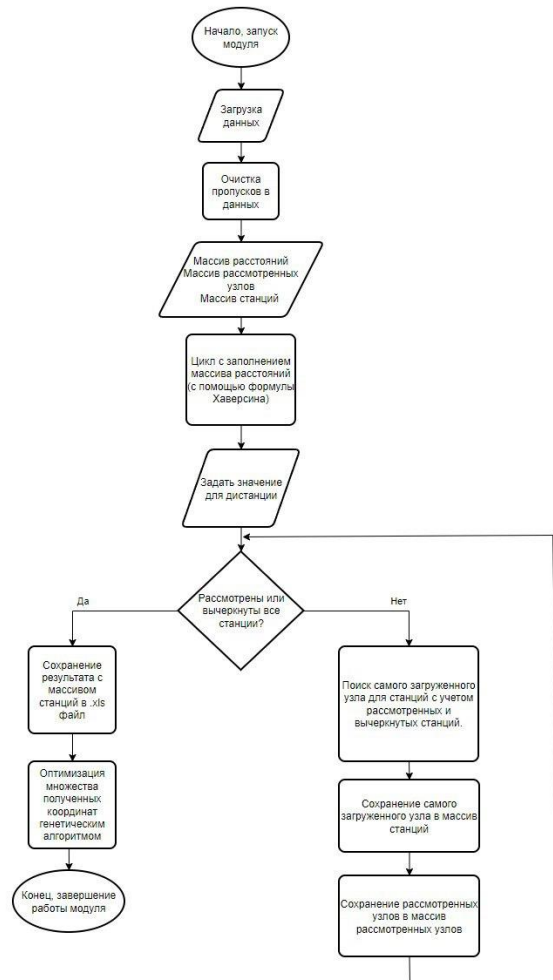
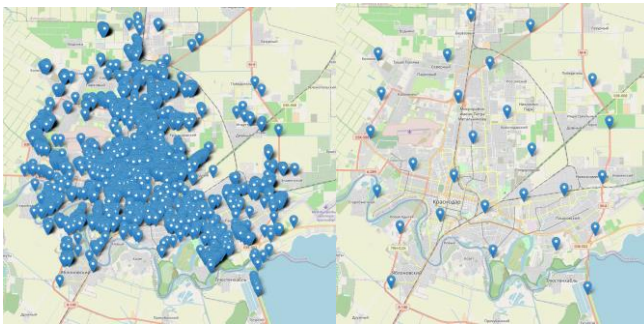


Рис. 3. Общий алгоритм программы

### III. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Так как в качестве основного критерия эффективности расстановки зарядных станций рассматривается показатель утилизации, необходимо выбрать множество ключевых точек, позволяющее охватить как можно большее число потенциальных потребителей. Одним из таких объектов могут являться парковочные зоны, которые с большой долей вероятности имеют дополнительное пространство для размещения зарядной инфраструктуры. В качестве весового коэффициента для каждого объекта использовалась его площадь, в результате чего зоны с большей площадью имеют больший приоритет.

В качестве примера для исследования был выбран город Краснодар, карта с расположением парковок которого представлена на рис. 4а. Столь большое число парковочных мест может усугубить использование генетического алгоритма, сделав его время работы чрезвычайно долгим, а сам алгоритм чрезвычайно требовательным к ресурсам [15]. Для решения этой проблемы были выбраны наиболее релевантные парковочные зоны с наибольшей площадью и с заранее заданным радиусом расположения, для чего строилась матрица расстояний на основе использования формулы Хаверсина (рис. 4б).



а)

б)

Рис. 4. Визуализация парковочных мест: а) все доступные парковочные места; б) выбор наиболее подходящих мест (по значению площади)

Полученные координаты являются входными параметрами для используемого генетического алгоритма, алгоритм которого представлен на рис. 5.

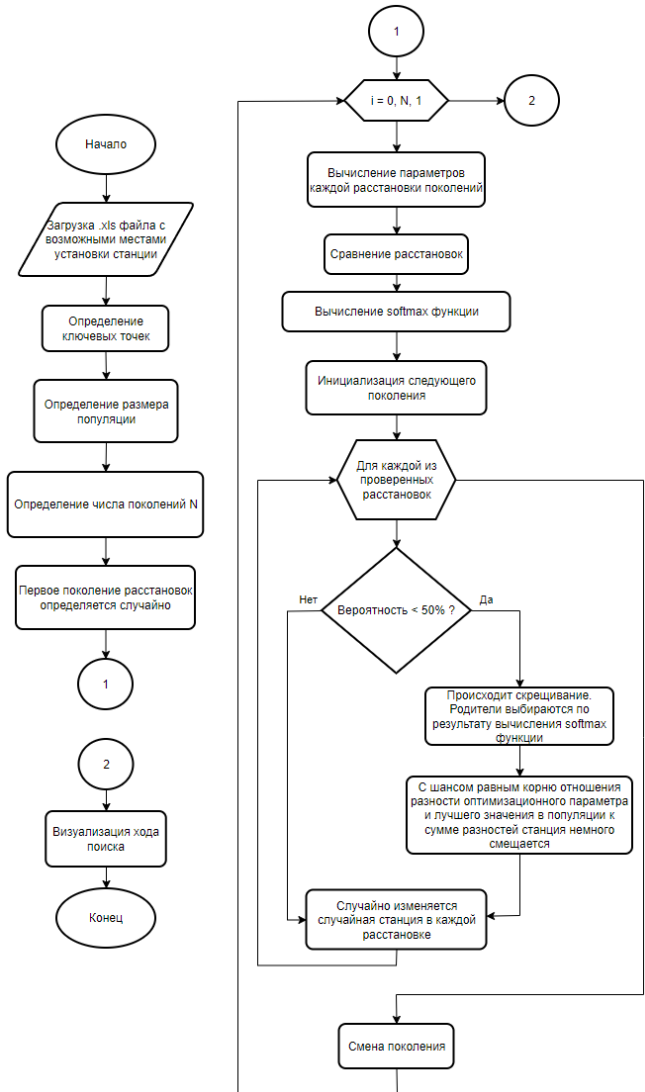


Рис. 5. Блок-схема генетического алгоритма для определения оптимального расположения станций

После определения первого поколения расстановок, запускается основной цикл генетического алгоритма, внутри которого происходит вычисление параметров для каждой расстановки, нахождение текущей лучшей из них сравнение с ней всех имеющихся, что необходимо для реализации процедуры вычисления softmax функции.

Использование данного алгоритма позволяет оптимизировать первичную полученную расстановку станций, принимая во внимание критерий утилизации станций. На рис. 6 представлен результат использования оптимизационного алгоритма на входном наборе предполагаемых мест установки.

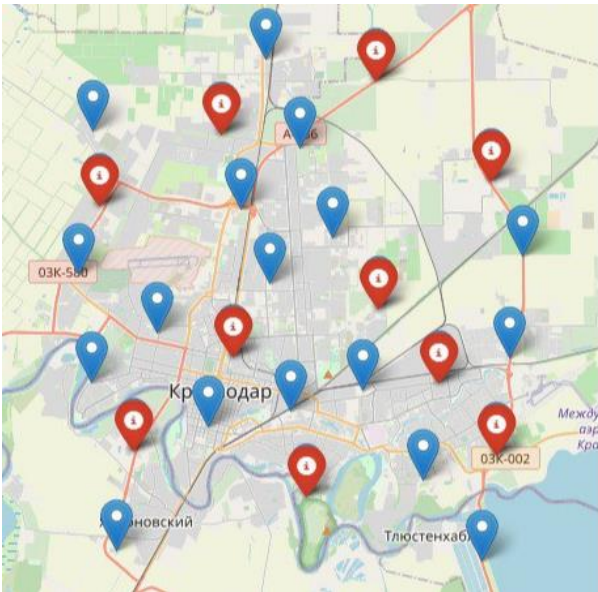


Рис. 6. Результат работы генетического алгоритма

#### IV. ВЫВОДЫ

Реализованный модуль для расстановки станций может использоваться для определения оптимальной расстановки зарядных станций на основе набора начальных точек и известного предполагаемого числа станций, планируемых к размещению. Предложенный подход является несколько идеализированным, так как он не учитывает в полной мере все параметры и факторы, оказывающие влияние на успешность эксплуатации зарядной станции. В качестве следующего шага развития необходимо привлечь дополнительные наборы данных, например, такие как трафик дорог и их значимость, количество жилых зданий в округе, что позволит более реально оценивать имеющиеся потребности в зарядной инфраструктуре.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Snigdha Sharma, Amrish K. Panwar, M.M. Tripathi, Storage technologies for electric vehicles, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Volume 7, Issue 3, 2020, Pages 340-361, ISSN 2095-7564, <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.04.004>.
- [2] Alanazi F. Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation. // *Appl. Sci.* 2023, 13, 6016. <https://doi.org/10.3390/app13106016>
- [3] Global EV Outlook 2022 – Analysis – IEA. Available online: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>
- [4] Simankov V., Buchatskiy P., Kazak A., Teploukhov S., Onishchenko S., Kuzmin K., Chetyrbok P. A Solar and Wind Energy Evaluation Methodology Using Artificial Intelligence Technologies. // *Energies* 2024, 17, 416. <https://doi.org/10.3390/en17020416>
- [5] Program 18: Electric Transportation/Overview. Available online: <https://www.epri.com/research/programs/053122/overview>
- [6] Li Z., Khajepour A., Song J. A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. // *Energy* 2019, 182, 824–839.
- [7] Ibrahim M., Rassölkin A., Vaimann T., Kallaste A. Overview on Digital Twin for Autonomous Electrical Vehicles Propulsion Drive System // *Sustainability* 2022, 14, 601.
- [8] Tim Unterluggauer, Jeppe Rich, Peter Bach Andersen, Seyedmostafa Hashemi, Electric vehicle charging infrastructure planning for integrated transportation and power distribution networks: A review, *eTransportation*, Volume 12, 2022, 100163, ISSN 2590-1168, <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2022.100163>.
- [9] V.S. Simankov, S.V. Onishchenko, P.Y. Buchatskiy and S.V. Teploukhov, An Approach to the Definition of System Intelligence in the Management of Complex Systems," // 2023 XXVI International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), Saint Petersburg, Russian Federation, 2023, pp. 159-162, doi: 10.1109/SCM58628.2023.10159122.
- [10] Fareed Ahmad, Atif Iqbal, Intiaz Ashraf, Mousa Marzband, Irfan khan, Optimal location of electric vehicle charging station and its impact on distribution network: A review, *Energy Reports*, Volume 8, 2022, Pages 2314-2333, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.180>.
- [11] Xiao D., An S., Cai H., Wang J., Cai, H. An Optimization Model for Electric Vehicle Charging Infrastructure Planning Considering Queuing Behavior with Finite Queue Length. // *J. Energy Storage* 2020, 29, 101317.ь
- [12] Lazari V., Chassiakos A. Multi-Objective Optimization of Electric Vehicle Charging Station Deployment Using Genetic Algorithms. // *Appl. Sci.* 2023, 13, 4867. <https://doi.org/10.3390/app13084867>
- [13] Разработка модуля размещения зарядных станций для электротранспорта на основе использования геоинформационных систем / П.Ю. Бучацкий, С.В. Теплоухов, С.В. Онищенко [и др.] // *Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки.* – 2023. № 3(326). С. 81-88. DOI 10.53598/2410-3225-2023-3-326-81-88. EDN GWTXEC.
- [14] Jaramillo J.H., Bhadury J., Batta R. On the use of genetic algorithms to solve location problems // *Comput. Oper. Res.* 2002, 29, 761–779.
- [15] Roeva Olympia & Fidanova Stefka & Paprzycki Marcin. (2013). Influence of the population size on the genetic algorithm performance in case of cultivation process modelling. // 2013 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2013. 371-376.