УДК 519.6

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИЙ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА**

**В.П. Бирюков**

**И.А. Кузьмина** (научный консультант)

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

*Работа содержит в себе содержательную и математическую постановку задачи, критерии оптимальности и ограничения для поставленной задачи, а также алгоритм оптимального размещения станций зарядки электромобилей на территории города.*

***Ключевые слова***: *эвристический алгоритм, зарядная станция, электромобили, критерии оптимальности.*

**Введение.** Правительства многих стран осознают тяжесть ситуации с экологическим загрязнением городов и вводят строгие экологические правила для автомобилей, а также разрабатываются программы поддержки иных видов транспорта не связанного с работой двигателя внутреннего сгорания [1-5]. На данный момент одним из наиболее перспективных направлений является развитие электротранспорта. Электромобили стремительно набирают популярность.

В настоящее время зарядная инфраструктура для электромобилей в России практически отсутствует. Для увеличения числа электромобилей на дорогах города, необходимо обеспечить их владельцам возможность комфортного обслуживания электрического транспорта, в частности, возможность зарядки электромобилей в непосредственной близости от дома, работы, мест отдыха и пр.

* + - 1. **Математическая постановки задачи.** Исходными данными для решаемой задачи являются:
  + множество объектов инфраструктуры: **Z**={Z𝑖, 𝑖∈[1… 𝑁Z]};
  + множество существующий зарядных станций: ;
  + множество площадок возможного размещения зарядных станций ;
  + множество трансформаторных подстанций: **Т**={Т𝑖, 𝑖∈[1…𝑁Т]}.

Ставится задача: определить оптимальное число и места расположения станций зарядки , , где – множество зарядных станций, построенных на множестве площадок , обеспечивающих экстремум заданных критериев оптимальности и удовлетворяющих заданному множеству ограничений .

* + - 1. **Критерии оптимальности.** Задача определения оптимальной инфраструктуры электрозарядных станций относится к многокритериальным оптимизационным задачам. Ниже представлены некоторые из возможных критериев оптимальности.

1) Затраты на строительство сети зарядных станций, включая затраты на оборудование и собственно строительство,

где – стоимость строительства зарядных станций.

1. Эксплуатационные затраты на обслуживание зарядных станций

где – стоимость обслуживания зарядной станции в рассматриваемый (заданный) период.

3) Затраты на подключение зарядных станций к трансформаторным подстанциям

где – стоимость затрат на подключение зарядной станции к трансформаторной подстанции.

* + - 1. **Ограничения** позволяют исключить из получаемых решений те, которые не могут быть реализованы физически или не удовлетворяют эксплуатационным требованиям.

1) Обеспечение доступности электрозарядных станций для комфортного использования владельцами электромобилей

, 𝑗∈[1…𝑁Z],

где – расстояние между *j*-м объектом городской инфраструктуры и ближайшей заправочной станцией; *I* – максимально допустимое (комфортное) расстояние, которое владелец электромобиля должен преодолеть от места зарядки до объекта инфраструктуры, где он будет ожидать зарядку автомобиля.

* + - 1. **Основные понятия и характеристики алгоритма.** Сложность решения поставленной задачи проектирования оптимальной структуры сети заправочных станций города обусловлена необходимостью учета существующей сети зарядных станций, а также наличием значительного числа ограничений. В работе для решения поставленной задачи разработан итерационный эвристический алгоритм этой задачи. Алгоритм включает в себя следующие этапы.

*Этап 0.*Определение матрицы достижимости объектов инфраструктуры и заправочных станций. Для каждой заправочной станции рассчитываем расстояние до каждого объекта инфраструктуры . Данные представляем в виде матрицы размерностью . Далее из матрицы исключаем значения, не удовлетворяющие условию

𝐷PS𝑖,Z𝑗,

где 𝐷S𝑖,Z𝑗 – расстояние между заправочной станцией и объектом инфраструктуры Р; – максимальное допустимое заданное расстояние между объектами. Структура матрицы представлена на Рис. 1.

*Этап I.* Учет существующей инфраструктуры зарядных станций. Для учета уже имеющихся зарядных станций, в матрицу добавляем строки, соответствующие уже имеющимся зарядным станциям (Рис. 2). Для каждой станции множества определяем расстояние до каждого объекта городской инфраструктуры. Далее из матрицы исключаем столбцы, соответствующие зданиям, для которых выполнены условия достижимости до ближайшей заправочной станции множества .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | … |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | 𝐷S𝑖,Z𝑗 |  |  |  |
| … |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Рис. 1. Структура матрицы расстояний

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | … |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| … |  |  |  | 𝐷S𝑖,Z𝑗 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| … |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Рис. 2. Структура матрицы расстояний

*Этап II.* Выбор площадок для размещения заправочных станций. После выполнения этапов 0-I для каждой площадки определен набор достижимых объектов инфраструктуры. Решение задачи выбора площадки для размещения заправочных станций реализовано алгоритмом покрытия, определяющим набор площадок , для покрытия всех зданий . Алгоритм состоит из последовательного включения в состав множества очередной площадки , располагающейся на множестве . Выбор площадки производим согласно одной из эвристик. Примеры некоторых эвристик представлены ниже.

*Эвристика 1.* Включение площадки с минимальным расстоянием до объекта инфраструктуры

*Эвристика 2.* Для каждой площадки определяем среднее расстояние между площадкой и всеми оставшимися объектами инфраструктуры. Среди рассчитанных расстояний выбираем минимальное:

Найденную площадку включаем в состав множества .

*Эвристика 3.* Из множества Z выбираем объект инфраструктуры с минимальным числом связей с площадками возможного размещения заправочных станций.

*Эвристика 4.* Во множество включаем площадку , которая может покрыть наибольшее число объектов инфраструктуры:

*Этап III.*Выбор трансформаторных подстанций для подключения заправочных станций. Для каждой площадки множества **S**\* вычисляем расстояние до каждой трансформаторной подстанции 𝑇𝑖 множества 𝐓, затем для каждой площадки выбираем те подстанции, расстояния до которых удовлетворяют условию

𝐷S𝑖,T𝑗,

где 𝐷S𝑖,Т𝑗 – расстояние между площадкой и подстанцией; – максимальное допустимое расстояние от заправочной станции до трансформаторной подстанции. Среди выбранных трансформаторных подстанций для обслуживания «первой» площадки выбираем подстанцию с максимальной мощностью. Мощность выбранной трансформаторной подстанции уменьшаем на величину нагрузки обслуживаемой площадки. Действия повторяем для всех площадок множества **S**\*.

**Заключение.** В рамках работы создана математическая модель задачи, а также разработана математическая постановка задачи. Для решения поставленной задачи разработан эвристический алгоритм оптимального размещения зарядных станций.

**Литература**

[1] Семенов Н. А. Международный научно-практический журнал "Программные продукты и системы" - более 30-ти лет в цифровом пространстве научных знаний / Н. А. Семенов // Информация и инновации. – 2020. – Т. 15, № 3. – С. 57-62.

[2] Гимади Э. Х. Задача упаковки в контейнеры: асимптотически точный подход / Э. Х. Гимади, В. В. Залюбовский // Известия высших учебных заведений. Математика. – 1997. – № 12. – С. 25-33.

[3] Рубахин В. Ф. "Искусственный интеллект" и принятие решений / В. Ф. Рубахин // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. – 2021. – Т. 6, № 3. – С. 247-255.

[4] Галиев К. С. Основы алгоритмизации и программирования: для студентов-бакалавров, изучающих «Информатику»/ К. С. Галиев, Е. К. Печурина ; Под редакцией В.И. Лойко. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2013. – 93 с.

[5] Седов Р. В. Электромобиль как средство экономии личных и общественных ресурсов / Р. В. Седов // Достижения науки и образования. – 2018. – № 6(28). – С. 57-58.

**SOLUTION OF THE PROBLEM OF DETERMINING THE OPTIMAL LOCATION OF ELECTRIC TRANSPORT CHARGING STATIONS IN THE CITY TERRITORY**

**V.P. Birjukov**

**I.A. Kuzmina** (scientific adviser)

*BMSTU, Moscow, Russia*

*The work contains a descriptive and mathematical formulation of the problem, optimality criteria and restrictions for the task. As well as an algorithm for the optimal placement of electric vehicle charging stations in the city.*

***Keywords*:** *heuristic algorithm, charging station, electric vehicles, optimality criteria.*