УДК 629.33:005.52-021.272

© А. А. Вельниковский, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: avelnikovskiy@inbox.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-5-137-141

© A. A. Vel'nikovskiy, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: avelnikovskiy@inbox.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА НА ОСНОВЕ РАЙОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ НА КЛАСТЕРЫ

SIMULATION OF THE INFRASTRUCTURE OF CNG STATIONS IN SAINT PETERSBURG ON THE BASIS OF ZONING OF THE URBAN AREA INTO CLUSTERS

Проведено имитационное моделирование инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) Санкт-Петербурга на основе районирования городской территории на кластеры. С помощью математического аппарата для каждого потребителя оценен необходимый объем газомоторного топлива и суммарное время заправки газобаллонного автомобиля. По декартовым координатам вычислен «центр масс». В результате произведенных вычислений были образованы кластеры, в центре которых размещались АГНКС, потребители сосредоточены по минимальному плечу заправки, а их число соответствует производительности станции.

Ключевые слова: имитационное моделирование инфраструктуры АГНКС, районирование территории, кластер, «центр масс», объем ГМТ, время заправки, плечо заправки.

The article presents the results of simulation of the CNG stations infrastructure in Saint Petersburg on the basis of zoning of the urban area into clusters. With the help of mathematical apparatus for each user there was estimated the capacity of natural-gas-based motor fuel and the total time of refueling. In Cartesian coordinates, «center of mass» was determined. As a result of the calculations, there were formed clusters, in the center of which CNG stations were located and there was taken into consideration refueling locus (the minimum distance from the stations to the motor fuel consumers) and the number of consumers corresponding to the capacity of the station.

Keywords: CNG stations infrastructure simulation, zoning of the territory, cluster, «center of mass», the CNG capacity, refueling time, refueling locus.

Учитывая численность населения и автомобильного парка, Санкт-Петербург можно отнести к одному из наиболее перспективных городов для развития рынка газомоторного топлива (ГМТ). Выгодное и удачное географическое положение дает преимущества в использовании всех видов транспортных средств (ТС). Для обеспечения условий по поэтапной замене общественного и частного автомобильного транс-

порта Петербурга на подвижной состав, использующий ГМТ, необходимо создание развитой и эффективной инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС). Решение этой задачи наиболее целесообразно выполнить за счет имитационного моделирования инфраструктуры АГНКС города путем математической формулировки для обеспечения адекватности реальным условиям.

Имитационное моделирование позволяет постичь суть явления без опытов на реальном объекте, дает возможность экспериментировать с предлагаемой системой инфраструктуры АГНКС, так как в реальности это делать нецелесообразно [4]. В процессе имитации создания и функционирования модели инфраструктуры АГНКС можно получить различные стратегии, обеспечивающие оценку эффективности разрабатываемой системы. В представленной модели (назовем ее моделью «В») производится районирование городской территории, т. е. распределение потребителей ГМТ по соответствующим ей кластерам (англ. *cluster* — скопление).

Разбиение территории Петербурга на кластеры осуществлялось в результате анализа гео-

графического расположения потребителей ГМТ. В первую очередь кластеры выбирались так, чтобы их формировали потребители, наиболее удаленные от центра города. Условно территория города была поделена на 17 кластеров с соответствующими потребителями ГМТ.

С учетом существующих АГНКС-1 (Пулковское шоссе, д. 42А) и АГНКС-2 (пр. Стачек, 47), находим по симплекс-методу ближайших к ним потребителей ГМТ [3]. В данной модели АГНКС находится в «центре масс», и потребители определяются по минимальному плечу заправки, а их число соответствует производительности станции и суммарной продолжительности заправки. Таким образом, мы получаем два первых кластера вокруг АГНКС-1 и АГНКС-2. Алгоритм фор-

Рис. 1. Алгоритм формирования инфраструктуры АГНКС в Санкт-Петербурге (модель «В»)

мирования инфраструктуры АГНКС (модель «В») показан на рис. 1.

Ниже приводится математический аппарат, используемый при имитационном моделировании инфраструктуры АГНКС Санкт-Петербурга.

Кластер образовывался следующим образом. Выбирался какой-либо потребитель, обозначаемый P_1 , оценивались необходимый ему для заправки объем ГМТ

$$V_1 = N_1 t_1 \quad (1)$$

и суммарное время заправки

$$T_1 = N_1 t_1, \quad (2)$$

где V_1 — объем и t_1 — время заправки одного ТС; N_1 — количество газобаллонных автомобилей (ГБА).

Затем находился ближайший к нему другой потребитель P_2 исходя из условия $\min_k \{d_{1k}\}$ по зависимости

$$d_{1k} = \sqrt{(x_1 - x_k)^2 + (y_1 - y_k)^2}, \quad (3)$$

где x_1, y_1 — координаты P_1 ; x_k, y_k — координаты P_k , а минимум ищется по всем потребителям k .

В результате такой минимизации находится потребитель $P_2(x_2, y_2)$ с координатами (x_2, y_2) . Для P_2 также вычислялось требуемое количество ГМТ V_2 и суммарное время заправки T_2 . Для найденных потребителей P_1 и P_2 вычислялся их центр масс (X_1, Y_1) с координатами X_1 и Y_1 , взвешенный по количеству ТС, по зависимости

$$X_1 = \sum_{i=1}^2 x_i N_i, \quad Y_1 = \sum_{i=1}^2 y_i N_i. \quad (4)$$

Рис. 2. Графическая интерпретация результатов имитационного моделирования инфраструктуры АГНКС Санкт-Петербурга на основе районирования городской территории на кластеры

Далее определяется следующий, третий, потребитель $P_3(x_3, y_3)$, ближайший к полученному центру масс (X_1, Y_1) аналогично зависимости (3):

$$\min_k \{d_{2k}\},$$

$$d_{2k} = \sqrt{(X_1 - x_k)^2 + (Y_1 - y_k)^2}, \quad (5)$$

где x_k, y_k — координаты потребителей за исключением P_1 и P_2 , и оценивались соответствующие ему объем ГМТ V_3 и суммарное время T_3 .

После этого вычисляется новый центр масс (X_2, Y_2) аналогично зависимости (4):

$$X_2 = \sum_{i=1}^3 x_i N_i, \quad Y_2 = \sum_{i=1}^3 y_i N_i \quad (6)$$

и находится ближайший к нему четвертый потребитель P_4 , с учетом которого вычисляется следующий третий центр масс (X_3, Y_3) , и т. д.

Эта процедура либо повторяется до тех пор, пока не определятся все потребители, принадлежащие кластеру, либо заканчивается, когда требуемый объем потребления ГМТ (V) или суммарное время заправки (T)

$$V = \sum_i V_i N_i, \quad T = \sum_i T_i N_i \quad (7)$$

превышают возможности АГНКС.

Графическая интерпретация результатов имитационного моделирования инфраструктуры АГНКС Санкт-Петербурга представлена на рис. 2.

Таким образом, в результате имитационного моделирования инфраструктуры АГНКС Санкт-Петербурга было произведено районирование города на 17 кластеров, где АГНКС находятся в «центре масс» потребителей ГМТ, при условии обеспечения минимального плеча заправки ГБА.

Библиографический список

1. Вельниковский А. А., Глазков В. Ф. Прогнозирование газомоторного рынка Санкт-Петербурга на основе регрессионной модели суточного потребления автотранспортом газомоторного топлива // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6 (59). С. 209–212.
2. Вельниковский А. А. Моделирование инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 4 (63). С. 201–204.
3. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1988. 254 с.

4. Гайнуллин Ф. Г., Шмачков П. Л., Васильев Ю. Н., Золотаревский Л. С. Принципы проектирования сети АГНКС в городах // Газовая промышленность. 1987. № 5. С. 16–18.

5. Глазков В. Ф., Евтюков С. А. Основы теории надежности, работоспособности и диагностики машин: учеб. пособие. СПб.: ИД «Петрополис», 2011. 450 с.

6. Доронин В. В., Зоря Е. И., Мигдалов В. Н., Прохоров А. Д., Сенкевич И. В. Моделирование и оптимизация размещения объектов системы нефтепродуктообеспечения на территории экономического района. Обзорная информация. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990.

7. Дулесов А. С., Прутовых М. А. Методика решения задачи об оптимальном размещении производственных объектов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: www.science-education.ru/111-10671

8. Евстифеев А. А. Математическая модель процесса заправки транспортных средств КПГ на АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 1 (37). С. 24–31.

9. Евстифеев А. А. Методология рационального построения и непрерывного совершенствования региональной сети АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 3 (39). С. 53–60.

10. Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 496 с.

11. Карнов В. В., Коробейников А. В., Малышев В. Ф., Фролькис В. А. Математическая обработка эксперимента и его планирование: учеб. пособие. М.: АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 1998. 100 с.

12. Лунгу К. Н. Линейное программирование. М.: Физматлит, 2005. 128 с.

13. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: межвуз. темат. сб. трудов; под ред. Б. Г. Вагера. СПб.: СПбГАСУ, 2001. 284 с.

14. Маленкина И. Ф., Ровнер Г., Мкртычан Я. Система обеспечения эффективного развития и эксплуатация сети метановых автозаправочных станций. М.: Нефть и газ РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005. 274 с.

15. Фролькис В. А. Линейная и нелинейная оптимизация: (В задачах инж.-строит. профиля): учеб. пособие для студентов вузов. СПб., 2001. 305 с.

16. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. М.: Мир, 1978. 302 с.

References

1. Vel'nikovskiy A. A., Glazkov V. F. *Prognozirovanie gazomotornogo rynka Sankt-Peterburga na osnove regressionnoy modeli sutochnogo potrebleniya avto-*

transportom gazomotornogo topliva [Forecasting the gas motor fuel market of Saint-Petersburg on the basis of regression model of vehicle daily consumption of natural gas fuel]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 6 (59), pp. 209–212.

2. Vel'nikovskiy A. A. *Modelirovanie infrastruktury avtomobil'nykh gazonapolnitel'nykh kompressornykh stantsiy Sankt-Peterburga* [Modeling of the infrastructure of CNG stations in Saint Petersburg]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 4 (63), pp. 201–204.

3. Voznesenskiy V. A. *Statisticheskie metody planirovaniya ehksperimenta v tekhniko-ehkonomicheskikh issledovaniyakh* [Statistical methods of planning experiments in technical and economic research]. Moscow, *Finansy i statistika – Finance and Statistics*, 1988, 254 p.

4. Gaynullin F. G., Shmachkov P. L., Vasil'ev Yu. N., Zolotarevskiy L. S. *Printsipy proektirovaniya seti AGNKS v gorodakh* [The principles of design of CNG filling station network in the cities]. *Gazovaya promyshlennost' – Gas Industry*, 1987, no. 5, pp. 16–18.

5. Glazkov V. F., Evtyukov S. A. *Osnovy teorii nadezhnosti, rabotosposobnosti i diagnostiki mashin. Ucheb. posobie* [Basics of the theory of reliability, working capacity and diagnostics of cars]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2011, 450 p.

6. Doronin V. V., et al. *Modelirovanie i optimizatsiya razmeshcheniya ob'ektov sistemy nefteproduktobespecheniya na territorii ehkonomicheskogo rayona. Obzornaya informatsiya* [Modeling and optimizing the placement of objects of oil products supply system in the territory of the economic region. Survey information]. Moscow, TsNII TEHneftekhim Publ., 1990.

7. Dulesov A. S., Prutovykh M. A. *Metodika resheniya zadachi ob optimal'nom razmeshchenii proizvodstvennykh ob'ektov* [Methodology of solving the tasks on production objects optimum placement]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2013, no. 5. Available at: www.science-education.ru/111-10671

8. Evstifeev A. A. *Matematicheskaya model' protsessa zapravki transportnykh sredstv KPG na AGNKS* [Mathematical model of process of gas station of CNG

vehicles at the CNG filling stations]. *Transport na al'ternativnom toplive – Transport on alternative fuel*, 2014, no. 1 (37), pp. 24–31.

9. Evstifeev A. A. *Metodologiya ratsional'nogo postroeniya i nepreryvnogo sovershenstvovaniya regional'noy seti AGNKS* [Methodology of rational creation and continuous improvement of the CNG filling station regional network]. *Transport na al'ternativnom toplive – Transport on alternative fuel*, 2014, no. 3 (39), pp. 53–60.

10. Zarubin V. S. *Matematicheskoe modelirovanie v tekhnike* [Mathematical modeling in engineering]. Moscow, MSTU named after Bauman N. Eh. Publ., 2010, 496 p.

11. Karpov V. V., Korobeynikov A. V., Malyshev V. F., Frol'kis V. A. *Matematicheskaya obrabotka ehksperimenta i ego planirovanie. Ucheb. posobie* [Mathematical processing of the experiment and its planning. Teaching manual]. Moscow, ASV Publ., St. Petersburg, SPSUACE, 1998, 100 p.

12. Lungu K. N. *Lineynoe programmirovaniye* [Linear programming]. Moscow, Fizmatlist Publ., 2005, 128 p.

13. *Matematicheskoe modelirovanie, chislennyye metody i komplekсы program. Trudy mezhevuz. temat. sb.* [Mathematical modeling, numerical methods and complexes of programs. Proc. of the inter-higher education institution coll. of works]. Ed. by Vager B. G. St. Petersburg, SPSUACE, 2001, 284 p.

14. Malenkina I. F., Rovner G., Mkrtychan Ya. *Sistema obespecheniya ehffektivnogo razvitiya i ehkspluatatsiya seti metanovykh avtozapravochnykh stantsiy* [The system of ensuring effective development and operation of methane gas stations network]. Moscow, Gubkin Russian State University of Oil and Gas Publ., 2005, 274 p.

15. Frol'kis V. A. *Lineynaya i nelineynaya optimizatsiya: (V zadachakh inzh.-stroit. profilya): ucheb. posobie dlya studentov vuzov* [Linear and nonlinear optimization: (In tasks of engineering – building profile). Teaching manual for students of higher education institutions]. St. Petersburg, 2001, 305 p.

16. Shennon R. *Imitatsionnoye modelirovanie sistem — iskusstvo i nauka* [Imitating modeling of systems. Art and science]. Moscow, World Publ., 1978, 302 p.