

Table 1

Station number		1	2	3	...	W	W+1	...	U
Small route train	Stop at terminal station	1	0	0	0	1	0	0	0
	Stop at terminal station and 1 middle station	1	1			1	0	0	0
	Stop at every station	1	1	1	1	1	0	0	0
Large route train	Stop at large station	1	0	0	0	1	0	0	1
	Stop at terminal station and 2 middle station	1	1			1	1		1
	Stop at every station	1	1	1	1	1	1	1	1

5 Integer constraints:

$$f_k \in Z^+, g_k \in Z^+. \quad (6)$$

### Conclusion

Starting from the problem that the passenger flow of intercity railway is small in the early stage of operation but still needs to ensure a high service level, and the contradiction between passenger travel cost and enterprise operating cost, a multi-objective optimization model is established to obtain the optimization conclusion of the train operation scheme that balances passenger service level and operating cost. Through case analysis, maintaining the average logarithm of 8 marshaling trains and 4 marshaling trains has a significant optimization effect on the reduction of passenger travel costs. In addition to 8 marshaling trains, a small number of 4 marshaling trains is the best choice to balance the cost of passenger travel and the operating cost of enterprises.

УДК 338.47

## ИНДУСТРИЯ 4.0 И ПЕРЕВОЗКА ОТХОДОВ

*М. П. ЦВИЛЬ*

*Белорусский государственный экономический университет, г. Минск*

Увеличение объема образующихся твердых коммунальных отходов во всём мире (ежегодно около 2,01 млрд тонн с увеличением до 3,40 млрд тонн к 2050) и усугубление проблемы загрязнения окружающей среды, свидетельствует, помимо прочего, о частичной неэффективности сложившейся системы по обращению с отходами и призывает к поиску новых стратегий для улучшения экосистемы, например, использованию искусственного интеллекта.

В настоящей статье пойдет речь о применении технологий индустрии 4.0 для оптимизации логистических процессов при обращении с отходами.

Система логистики и транспортировки отходов является важным звеном, объединяющим источник образования отходов и их дальнейшую переработку. Однако существующие системы логистики и транспортировки отходов имеют ряд недостатков. Во-первых, затраты, связанные с логистикой и транспортировкой отходов, непомерно высоки, особенно на этапе сбора. Так, сегодня большинство систем по сбору отходов осуществляются вручную и часто неэффективно. Согласно проведенным исследованиям на сбор отходов приходится примерно 70–80 % от общего объема затрат на обращение с отходами. Более того, в результате неэффективного планирования образуются заторы на маршрутах, увеличивается объем потребления топлива для организации сбора. Всё это вносит свой вклад в увеличение объема выбросов парниковых газов в атмосферу до 50 %. [4] Во-вторых, человеческий фактор является своего рода кадровым ограничением и влечет за собой недоработки в планах сбора отходов и подборе транспортных средств. Поэтому для решения подобного рода проблем были разработаны и внедрены решения на основе искусственного интеллекта для оптимизации процессов логистики и транспортировки отходов.

Преимуществами технологий индустрии 4.0 являются максимизация прибыли, сокращение инвестиционных и операционных расходов, преобразование отходов во вторичные материальные ресурсы, преодоление некоторых операционных сложностей, которые невозможны без передовых технологий, увеличение скорости операций по управлению отходами, повышение имиджа компании, внедрение и популяризация экологических ценностей, оптимизации соотношения цены и качества. Согласно проведенным исследованиям, использование искусственного интеллекта в логистике отходов помогает снизить дистанцию транспортировки до 36,8 %, сэкономить на затратах до 13,35 % и сократить временные потери до 28,22 % [1].

Технологии 4.0 позволяют оптимизировать логистику отходов по четырем критериям: расстояние, стоимость, время транспортировки, уровень эффективности. Так, Акдас предложил метод для составления маршрутов для транспортных средств с использованием алгоритма оптимизации подражанием муравьиной колонии. Результаты исследования показали, что использование метода позволяет сократить дистанцию транспортировки отходов до 13 % [10], использование алгоритма Дейкстры и алгоритма запрещенного поиска [5] позволяет сократить расстояние перевозки до 28 %, генетического алгоритма [7] – до 28,22 %. Алгоритм поиска с возвратом [2] позволяет сократить расстояние перевозки до 36,8 процентов и увеличить эффективность сбора отходов до 36,78 %. Алгоритм поиска гармонии [3] повышает коэффициент полезности количества пунктов сбора до 5,4 %.

Среди прочего использование технологий позволяет планировать деятельность перевозчика, координировать деятельность сотрудников и оборудования, собирать и обрабатывать данные (например, вид и количество собранных отходов, операции по сопровождению и контролю, онлайн- отчетность о происшествиях, период эксплуатации транспортного средства [9]); оптимизировать маршрут в режиме реального времени, измерять уровень заполнения контейнеров, осуществлять подземное захоронение отходов автономными роботами [6]; использовать измерительный механизм для установки в мусоровозы, который позволяет прогнозировать уровень заполнения, что способствует снижению количества поездок для сбора отходов; использование уплотнителей отходов на солнечной энергии, которые могут вмещать в себя в пять раз больше, чем обычные контейнеры, которые, в том числе, собирают информацию о заполнении и необходимости забора, что позволяет сделать процесс сбора более гибким [8]; увеличение эффективности сбора и количества пунктов сбора отходов.

Неотъемлемой частью сбора отходов является расстановка и обслуживание контейнеров. Современные технологии с помощью специальных датчиков и сенсоров позволяют осуществлять автоматический контроль заполнения контейнеров и уведомление об этом конечных пользователей. Система умных контейнеров позволяет увеличить эффективность сбора отходов, предотвратить переполненность контейнеров, уменьшить распространение болезней и в общем улучшить экологическую обстановку в городе.

Стоит отметить, что, несмотря на все преимущества технологий индустрии 4,0, их использование пока ограничено и находится в стадии зарождения. Это связано, в том числе, и с высокими инвестиционными и операционными затратами на их внедрение и обслуживание. Управление отходами – это сложная система, которая включает в себя многочисленные технические, климатические, экологические, демографические, социально-экономические и юридические параметры, поэтому именно на современные технологии возлагают большие надежды для решения таких комплексных нелинейных процессов.

#### Список литературы

- 1 Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review [Electronic resource]. – Mode of access : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37362015/#>. – Date of access : 10.08.2023.
- 2 Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17300193?via%3Dihub> – Date of access : 05.09.2023.
- 3 Combining an artificial intelligence algorithm and a novel vehicle for sustainable e-waste collection [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720322439?via%3Dihub>. – Date of access : 05.09.2023.
- 4 Optimal routing of solid waste collection trucks: a review of methods [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.hindawi.com/journals/je/2018/4586376/>. – Date of access : 14.08.2023.
- 5 Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes, through linear programming and geographic information system: a case study from Sanliurfa, Turkey [Electronic resource]. – Mode of access : <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7975-1>. – Date of access : 02.09.2023.
- 6 ReWaste4.0 [Electronic resource]. – Mode of access : [https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine\\_downloads/strukturprogramme/20180430\\_rewaste4\\_0\\_successstory\\_en\\_digitale\\_abfallwirtschaft.pdf](https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/strukturprogramme/20180430_rewaste4_0_successstory_en_digitale_abfallwirtschaft.pdf). – Date of access : 01.09.2023.
- 7 SGA: spatial GIS-based genetic algorithm for route optimization of municipal solid waste collection [Electronic resource]. – Mode of access : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-2826-0>. – Date of access : 02.09.2023.
- 8 Smart waste management solutions that are revolutionizing the industry [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.datasciencecentral.com/smart-waste-management-solutions-that-are-revolutionizing-the-industry/>. – Date of access : 01.09.2023.
- 9 Technological innovation in solid waste management: The digital revolution is transforming the way we see and handle our waste [Electronic resource]. – Mode of access : <https://blogs.iadb.org/agua/en/technological-innovation-in-solid-waste-management-the-digital-revolution-is-transforming-the-way-we-see-and-handle-our-waste/>. – Date of access : 07.09.2023.
- 10 Vehicle route optimization for solid waste management: a case study of Maltepe, Istanbul [Electronic resource]. – Mode of access : [https://www.researchgate.net/publication/354082601\\_Vehicle\\_Route\\_Optimization\\_for\\_Solid\\_Waste\\_Management\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_Maltepe\\_Istanbul](https://www.researchgate.net/publication/354082601_Vehicle_Route_Optimization_for_Solid_Waste_Management_A_Case_Study_of_Maltepe_Istanbul). – Date of access : 20.08.2023.