

Р.Ю. Упырь, А.В. Дудакова, М.С. Ким

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДЕ ANYLOGIC ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ПОГРУЗКИ

Аннотация. В статье исследуются возможности применения оптимизационных экспериментов в программной среде AnyLogic для моделирования и повышения эффективности логистических процессов. На примере работы мобильных бригад, обслуживающих удаленные грузовые дворы, продемонстрирован процесс настройки и проведения оптимизационного эксперимента, направленного на минимизацию времени простоя бригад и максимизацию прибыли. Описаны алгоритмы, встроенные в AnyLogic, и целевые функции, использованные для проведения оптимизации. Результаты эксперимента подтверждают эффективность оптимизационного подхода для анализа и улучшения ключевых показателей логистических процессов.

Результаты получены в рамках НИОКТР «Цифровые модели транспортных технологических процессов» (Рег.номер 123122900011-4 от 29.12.2023г).

Ключевые слова: оптимизационный эксперимент, AnyLogic, транспортная логистика, сервисная бригада, моделирование.

R.Yu. Upyr, A.V. Dudakova, M.S. Kim

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

POSSIBILITIES OF OPTIMIZATION EXPERIMENT RESULTS IN LOGISTICS PROCESS MODELING USING ANYLOGIC FOR DIFFERENT LOADING SCHEMES

Abstract. This article explores the use of optimization experiments in the AnyLogic software environment to model and enhance the efficiency of logistics processes. Using the example of mobile crews servicing remote freight yards, the study demonstrates the process of configuring and conducting an optimization experiment aimed at minimizing crew working time and maximizing profits. The algorithms embedded in the model and the objective functions used for optimization are described. The results of the experiment confirm the effectiveness of the optimization approach for analyzing and improving key performance indicators in logistics.

The results were obtained within the framework of the R&D project "Digital Models of Transport Technological Processes" (Registration No. 123122900011-4 dated December 29, 2023).

Keywords: optimization experiment, AnyLogic, transport logistics, service crew, modeling.

Введение

Оптимизация логистических процессов является важной задачей для повышения эффективности работы производственных и транспортных систем. Использование современных методов моделирования и имитации позволяет не только детально изучить поведение сложных систем, но и провести оптимизационные эксперименты для поиска наилучших значений параметров. AnyLogic как мультиметодная среда моделирования поддерживает гибкие возможности для проведения таких экспериментов, что делает её эффективным инструментом для анализа и оптимизации логистических задач.

И в области транспортной логистики AnyLogic находит широкое применение. Например, в [1] рассмотрена оптимизация работы аэропорта. Модель позволила провести оптимизационные эксперименты, направленные на улучшение пропускной способности и эффективности транспортного объекта. В [2] на основе моделирования маршрутной сети городского пассажирского транспорта Нижнего Новгорода исследователи провели оптимизационные эксперименты для определения наилучших вариантов расписания, типов и количества подвижного состава, а также оценки эффективности различных режимов движения. Оптимизацией цепочек поставок занимаются авторы в [3]. В статье обсуждается эффективное управление транспортной сетью, что является необходимым для функционирования системы поставок. С помощью AnyLogic были прове-

дены оптимизационные эксперименты для построения логистических планов, оценки их выполнимости и затрат на реализацию. Все эти исследования демонстрируют успешное применение AnyLogic в задачах проведения оптимизационных экспериментов в транспортной логистике, позволяя улучшать процессы планирования, управления ресурсами с целью повышения общей эффективности работы транспортных систем.

Методы оптимизации логистических процессов

Модель, разработанная авторами, представляет собой логистическую систему, в которой агенты (бригады) оказывают услуги сервиса «быстрого реагирования» – осуществляют выезд для выполнения задач по погрузке, выгрузке грузов на отдаленных грузовых дворах по мере поступления заявок на обслуживание [4]. Запросы на обслуживание управляются очередями, что позволяет моделировать распределение задач между бригадами. В модели ведется учет различных показателей: эксплуатационных, таких как общее количество выполненных заявок, время простоя и время выполнения заявок, общий пробег и др; экономических – доходы, расходы, экономическая эффективность.

В данной модели проводился оптимизационный эксперимент, направленный на улучшение производительности работы мобильных бригад. Основные параметры оптимизации включают:

- количество бригад: для определения оптимального числа рабочих групп, необходимых для выполнения задач без простоев;

- время выполнения задач на разных грузовых дворах: оптимизация временных параметров, таких как время погрузки и разгрузки, для минимизации простоев и увеличения пропускной способности.

Оптимизационный эксперимент в AnyLogic позволяет использовать два типа оптимизаторов:

- 1) генетический – базируется на принципах эволюционных алгоритмов. Его основной задачей является поддержание разнообразия возможных решений во избежание заикливания на субоптимальных вариантах. Этот оптимизатор работает с популяцией решений, создавая сразу несколько вариантов на каждом шаге. Из них отбираются лучшие, которые переходят на следующий этап. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет найдено максимально эффективное решение.

- 2) OptQuest представляет собой универсальный алгоритм глобальной оптимизации и работает как «черный ящик», эффективно обрабатывая различные задачи оптимизации без необходимости вмешательства в его внутренние механизмы. Поддерживает эвристические методы, такие как генетические алгоритмы и методы локального поиска, и также позволяет находить оптимальные параметры модели для минимизации или максимизации целевой функции [5-6]. Эти параметры могут включать переменные, такие как количество ресурсов, скорость выполнения задач, время обслуживания и другие. В ходе оптимизационного эксперимента AnyLogic перебирает значения параметров, заданные пользователем, и запускает модель для каждого набора параметров, анализирует результаты и предлагает оптимальные значения параметров.

Оптимизационный эксперимент в данной работе нацелен на минимизацию времени простоя и максимизацию общего числа выполненных задач для увеличения, в конечном итоге, экономической эффективности. Проводился с учетом следующих целевых метрик: Minimize Idle Time – сокращение времени простоя бригад; Maximize Throughput – увеличение общего количества выполненных задач. Были определены диапазоны значений параметров, таких как количество бригад и время обслуживания. Значения варьировались в пределах, указанных в исходной модели, для изучения их влияния на целевую функцию. Целевой функцией служило получение наибольшей прибыли, и оптимизация была направлена на её максимизацию.

Рассмотрим результаты первого эксперимента с использованием генетического оптимизатора. Было выполнено 503 итерации, определена общая прибыль в размере 1 221 495,85, в то время как текущее значение было равно 1 154 664,6 рублей. На графике (рис. 1) видно, что целевая функция достигла значительного улучшения на первых 200 итерациях, после чего рост замедлился, а затем стабилизировался. По каждому грузовому двору определены следующие важные параметры: количество вагонов, время на погрузку, средняя загрузка вагона. Например, для грузового двора станции Селенга допустимое общее время погрузки в вагоны составляет 7,6 часа, что меньше текущего значения на 0,5 часа.

В результате второго эксперимента (рис. 2) с использованием OptQuest максимальное значение прибыли получено 9 261 586 (текущее значение 9 051 782 рубля) рублей уже на первых

100 итерациях и далее рост ее практически прекратился.

Заключение

В обоих случаях эксперимент определил оптимальные параметры для каждого грузового двора (например, количество вагонов, время погрузки), которые обеспечивают максимальное значение целевой функции. Оптимизационный эксперимент показал, что при увеличении количества бригад и сокращении времени простоя удалось увеличить количество выполненных задач на 15%. Применение эвристических методов позволило значительно сократить время на нахождение оптимальных значений параметров. Анализ данных также показал, что при оптимальном распределении ресурсов и минимизации времени простоя производительность логистической системы возрастает.

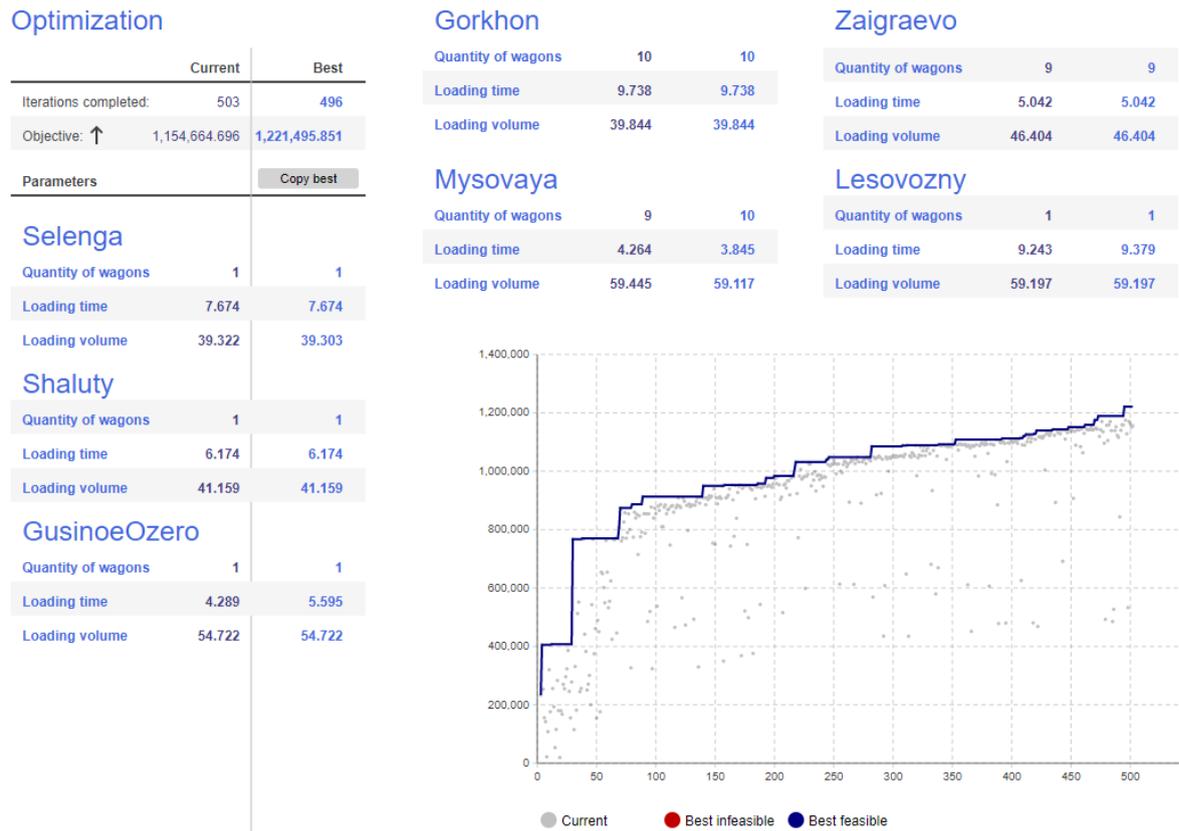


Рис. 1. Окно выполнения оптимизационного эксперимента на основе генетического оптимизатора (разработано авторами в среде AnyLogic)

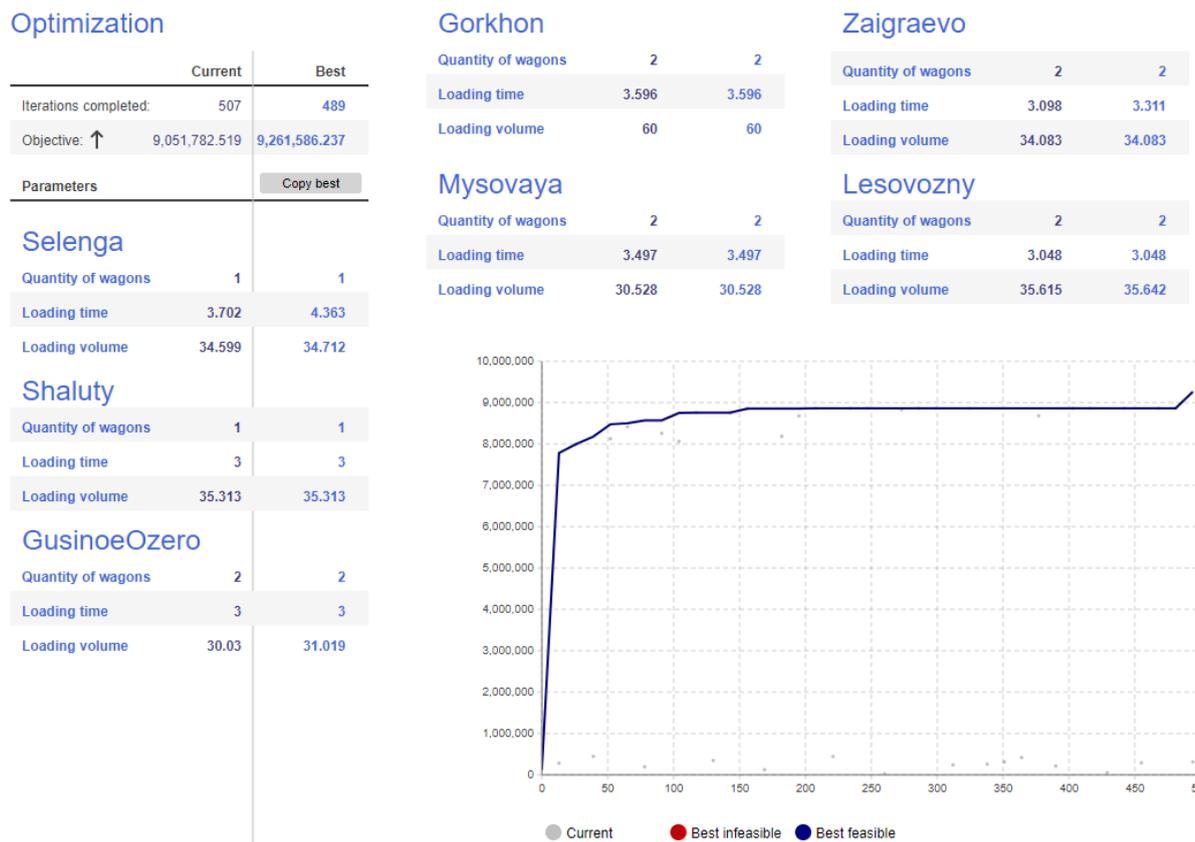


Рис. 2. Окно выполнения оптимизационного эксперимента на основе генетического оптимизатора (разработано авторами в среде AnyLogic)

Применение оптимизационных экспериментов в AnyLogic на примере модели работы сервиса быстрого реагирования демонстрирует потенциал данного подхода для анализа и повышения эффективности логистических процессов. Оптимизационные методы позволяют находить наиболее эффективные значения параметров, обеспечивая баланс между производительностью и затратами. Результаты эксперимента могут служить основой для дальнейшего улучшения и разработки эффективных стратегий управления логистическими системами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оптимизация работы аэропортов и проектирование объектов транспортной инфраструктуры // URL: <https://www.anylogic.ru/resources/case-studies/optimizing-airport-processes-and-designing-transportation-facilities-with-simulation/> (дата обращения 14.12.2024)
2. Липенков А.В. Моделирование маршрутной сети городского пассажирского транспорта Нижнего Новгорода в AnyLogic / А.В. Липенков, О.А. Липенкова, М.Е. Елисеев, ИМ-МОД-2013, Казань, 16-18 октября, – С. 179- 183
3. Попков Т. Оптимизация цепочек поставок: транспортные сети /Т. Попков, М. Гарифуллин. Конъюнктура Товарных Рынков. Маркетинг& Логистика. №1, 2006г.// URL: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/optimizatsiya-tsepochk-postavok-transportnye-seti/> (дата обращения: 15.12.2024)
4. Упырь Р. Ю. Моделирование работы сервиса быстрого реагирования для обеспечения работы терминально-складских комплексов / Р. Ю. Упырь, А. В. Дудакова // Известия Транс-сба. – 2024. – № 2(58). – С. 72-81.
5. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic. – Anylogic North America. – 2013. – 614 с. // URL: <https://www.anylogic.ru/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/> (дата обращения: 10.12.2024)
6. Топаж А. Г. Оперативное планирование и комбинаторная оптимизация в имитационных моделях транспортной логистики проектного уровня / А.Г. Топаж, О.В. Таровик, А.С. Рущкий, В.А. Киселёв // Матер. Девятой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное

REFERENCES

1. Optimizing Airport Processes and Designing Transportation Facilities with Simulation. Available at: <https://www.anylogic.ru/resources/case-studies/optimizing-airport-processes-and-designing-transportation-facilities-with-simulation/> (accessed December 14, 2024).
2. Lipenkov A.V., Lipenkova O.A., Eliseev M.E. Modeling the Route Network of Urban Passenger Transport in Nizhny Novgorod Using AnyLogic. Proceedings of IMMOD-2013, Kazan, October 16–18, 2013, pp. 179–183.
3. Popkov T., Garifullin M. Supply Chain Optimization: Transportation Networks. Commodity Market Conditions. Marketing & Logistics. No. 1, 2006. Available at: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/optimizatsiya-tsepochek-postavok-transportnye-seti/> (accessed December 15, 2024).
4. Upr R.Yu., Dudakova A.V. Modeling the Operations of Rapid Response Services to Support Terminal and Warehouse Complexes. Trans-Siberian Bulletin. 2024. No. 2(58), pp. 72–81.
5. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic. AnyLogic North America, 2013, 614 pages. Available at: <https://www.anylogic.ru/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/> (accessed December 10, 2024).
6. Topazh A.G., Tarovik O.V., Reutsky A.S., Kiselev V.A. Operational Planning and Combinatorial Optimization in Simulation Models of Project-Level Transport Logistics. Proceedings of the Ninth All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation and Its Applications in Science and Industry "Simulation. Theory and Practice," IMMOD-2019, Yekaterinburg, Russia, 2019, pp. 235–241.

Информация об авторах

Упырь Роман Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: upyr_ru@irgups.ru.

Дудакова Анастасия Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: dunas1@yandex.ru.

Ким Марк Станиславович – магистрант, группа ТТПм.1-24-1 (И,О), Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: markkim@mail.ru

Information about the authors

Upr Roman Yurievich – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of operational work management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: upyr_ru@irgups.ru.

Dudakova Anastasiya Vladimirovna – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of operational work management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: dunas1@yandex.ru.

Kim Mark Stanislavovich – master's student, group TTPm.1-24-1 (I, O), Irkutsk State Transport University, Irkutsk, email: markkim@mail.ru